

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра экологии и рационального использования  
водных ресурсов**

**О. Б. МЕЖЕННАЯ**

**ПОДГОТОВКА ВОДЫ  
ДЛЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2008**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра экологии и рационального использования  
водных ресурсов

О. Б. МЕЖЕННАЯ

# ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Учебно-методическое пособие

*Одобрено методической комиссией строительного факультета*

Гомель 2008

УДК 628.16(075.8)  
ББК 38.761.1  
М43

Р е ц е н з е н т – канд. техн. наук, доцент **Б. Н. Житенев** (зав. кафедрой  
«Водоснабжение, водоотведение и теплоснабжение УО «БГТУ»).

**Меженная, О. Б.**

М43 Подготовка воды для питьевого водоснабжения : учеб.-метод.  
пособие / О.Б. Меженная ; М–во образования Респ. Беларусь, Белорус.  
гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 265 с.  
ISBN 978-985-468-422-2

Изложены основные требования к качеству питьевой воды. Приведены материалы для ознакомления с назначением, условиями, принципами работы очистных сооружений, методы расчета и проектирования сооружений для очистки питьевой воды. Представлены компоновочные решения станций водоподготовки.

Предназначено для оказания помощи студентам при выполнении курсового проекта по дисциплине «Водоподготовка», а также для дипломного проектирования.

**УДК 628.1/2(075.8)**  
**ББК 38.761.1**

**ISBN 978-985-468-422-2**

© Меженная, О. Б. 2008  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения страны доброкачественной питьевой водой является наиболее значимой проблемой, поскольку она непосредственно влияет на состояние здоровья человека и определяет степень экологической и эпидемиологической безопасности страны.

При разработке проекта станции водоподготовки должны быть использованы последние новейшие достижения науки и техники в области водоснабжения с тем, чтобы ко времени ввода в действие они были технически совершенными. В проекте должны приниматься решения, которые позволяли бы сократить капитальные вложения, затраты труда на строительство, уменьшить материально-технические ресурсы по сравнению с аналогично действующими станциями водоподготовки как на стадии проектирования и строительства, так и во время их эксплуатации. Успешно решить эти задачи можно применением более прогрессивных технологий в водоподготовке, объемно-планировочных и конструктивных решений, улучшением технико-экономических показателей объекта строительства.

Современные водоочистные комплексы характеризуются высокой степенью механизации и автоматизации трудоемких процессов, диспетчеризацией и автоматизацией работы аппаратов реагентного цеха, основных технологических сооружений и насосных станций, автоматизацией контроля показателей качества воды. При помощи телемеханических устройств все основные показатели работы электрического и механического оборудования, а также технологические показатели работы отдельных водоочистных сооружений передаются на центральный пульт управления завода, в диспетчерскую.

Водоочистные комплексы, как правило, занимают значительную территорию, площадь которой достигает десятков гектаров и является санитарной зоной первого пояса. Поэтому территорию водоочистных комплексов не только ограждают для предотвращения доступа посторонних лиц, но и хорошо озеленяют, устраивают дорожные покрытия и оборудуют организованным водостоком.

В данном пособии, предназначенном для выполнения студентами курсового и дипломного проектов станции водоподготовки, изложен материал по выбору и расчету сооружений, компоновочные решения станций.

## 1 СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Проект состоит из пояснительной записки и графической части.

**Пояснительная записка включает:**

- задание на проектирование;
- краткую характеристику зоны строительства, климатические условия месторасположения;
- требования к качеству потребляемой воды, анализ качества исходной воды;
- выбор метода обработки воды и технологической схемы;
- определение производительности водоочистной станции;
- расчет сооружений схемы, принцип действия;
- высотную схему водоочистной станции;
- заключение.

Объем пояснительной записки – 30–35 страниц.

**В графическую часть входят:**

- схема генплана водоочистной станции с сетями водоснабжения и водоотведения М 1:500, 1:400, 1:250;
- планы и разрезы сооружений водоподготовки;
- высотная схема сооружений.

## 2 ПРИНЦИП ВЫБОРА МЕТОДА ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Обработка воды с целью сделать ее пригодной для питья, хозяйственных целей представляет собой комплекс физических, химических и биологических методов изменения ее первоначального состава. Под обработкой воды понимают не только ее очистку от ряда нежелательных и вредных примесей, но и улучшение природных свойств путем обогащения ее недостающими ингредиентами.

Все многообразие методов обработки воды можно подразделить на следующие **основные группы:**

- а) улучшение органолептических свойств воды (осветление и обесцвечивание, дезодорации и др.);
- б) обеспечение эпидемиологической безопасности (хлорирование, озонирование, ультрафиолетовая радиация и др.);
- в) кондиционирование минерального состава (фторирование и обесфторивание, обезжелезивание и деманганация, умягчение или обессоливание и др.).

Метод обработки воды выбирают на основе предварительного изучения

состава и свойства воды источника, намеченного к использованию, и их сопоставления с требованиями потребителя.

Очевидно, что надобность в выборе метода обработки исходной воды возникает в случае ее несоответствия требованиям потребителя. В основу выбора метода обработки воды положено сопоставление качества воды источника водоснабжения с данными СанПиН 10-124 РБ-99. Когда конкурентоспособными оказываются несколько методов обработки воды, в этом случае оптимальный метод выбирают по данным технико-экономического анализа (сравнивая приведенные затраты), руководствуясь минимальными затратами и высоким технологическим эффектом.

### 3 ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

Нормативы качества питьевой воды по различным показателям регламентированы СанПиН 10-124 РБ-99 (таблицы 1–5).

Таблица 1 – Нормативы качества питьевой воды по микробиологическим и паразитологическим показателям

Показатель	Единица измерения	Норматив
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 см <sup>3</sup>	Отсутствие 300 мл
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 см <sup>3</sup>	Отсутствие 300 мл
Общее микробное число	Число образующих колоний бактерий в 1 см <sup>3</sup>	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 см <sup>3</sup>	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 см <sup>3</sup>	
Цисты лямблий	Число цист в 50 см <sup>3</sup>	
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 При определении проводится трехкратное исследование по 100 мл отобранной пробы воды.</p> <p>2 Превышение норматива не допускается в 95 % проб, отбираемых в точках водозабора наружной и внутренней водопроводных сетей в течение 12 месяцев, при следующих условиях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– количество исследуемых проб – не менее 100 за год;</li> <li>– превышение допускается в единичных, но не в двух последовательно отобранных пробах в одной и той же точке;</li> <li>– уровень загрязнения при этом – не более 2 КОЕ (колоний образующих единиц) бактерий семейства Enterobacteriaceae в 100 мл.</li> </ul> <p>3 Определение колифагов и цист лямблий проводится в системах водоснабжения из</p>		

поверхностных и подземных источников перед подачей воды в распределительную сеть, а колифаги – еще и в сети.

4 Определение спор сульфитредуцирующих клостридий проводится при оценке эффективности технологии обработки воды.

**Таблица 2 – Нормативы обобщенных показателей и наиболее распространенных химических веществ в питьевой воде**

В миллиграммах на дециметр кубический

Наименование показателя	Норматив (предельно допустимая концентрация ПДК),	Показатель вредности	Класс опасности
Водородный показатель	В пределах 6–9		
Общая минерализация (сухой остаток)	1000 (1500) <sup>2</sup>		
Жесткость общая	7,0 (10) <sup>2</sup>		
Окисляемость перманганатная	5,0		
Нефтепродукты, суммарно	0,1		
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	0,5		
Алюминий (Al <sup>3+</sup> )	0,5	с.-г.	2
Барий (Ba <sup>2+</sup> )	0,1	с.-г.	2
Бериллий (Be <sup>2-</sup> )	0,0002	с.-г.	1
Бор (В, суммарно)	0,5	с.-г.	2
Гидрокарбонаты (НСО <sub>3</sub> )	≥30		
Железо (Fe, суммарно)	0,3 (1,0) <sup>2</sup>	орг.	3
Кадмий (Cd, суммарно)	0,001	с.-г.	2
Марганец (Mn, суммарно)	0,1 (0,5) <sup>2</sup>	орг.	3
Медь (Cu, суммарно)	1,0	орг.	3
Метан (СН <sub>4</sub> )	2,0		
Молибден (Mo, суммарно)	0,25	с.-г.	2
Мышьяк (As, суммарно)	0,05	с.-г.	2
Натрий (Na <sup>2+</sup> )	200		
Никель (Ni, суммарно)	0,1	с.-г.	3
Нитраты (по NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	45	орг.	3
Нитриты (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	3,0		
Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> )	2,0		
Ртуть (Hg, суммарно)	0,0005	с.-г.	1
Свинец (Pb, суммарно)	0,03	с.-г.	2
Селен (Se, суммарно)	0,01	с.-г.	2
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	отс.		
Стронций (Sr <sup>2+</sup> )	7,0	с.-г.	2
Сульфаты (SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	500	орг.	4
Фенолы, мкг/дм <sup>3</sup>	1,0		
Фториды (F <sup>-</sup> )	0,7–1,5	с.-г.	2
Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	350	орг.	4

Хром (Cr <sup>6+</sup> )	0,05	с.-т.	3
Цианиды (CN <sup>-</sup> )	0,035	с.-т.	2
Цинк (Zn <sup>2+</sup> )	5,0	орг.	3
γ-ГХЦГ (линдан)	0,002 <sup>3</sup>	с.-т.	1

Окончание таблицы 2

Наименование показателя	Норматив (предельно допустимая концентрация ПДК),	Показатель вредности	Класс опасности
ДДТ (сумма изомеров)	0,002 <sup>3</sup>	с.-т.	2
2,4-Д	0,03 <sup>3</sup>	с.-т.	2
<p><sup>1</sup>) Лимитирующий признак вредности вещества, по которому установлен норматив: «с.-т.» – санитарно-токсикологический, «орг.» – органолептический</p> <p><sup>2</sup>) Величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению государственного санитарного врача соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.</p> <p><sup>3</sup>) Нормативы приняты в соответствии с рекомендациями ВОЗ.</p>			

Таблица 3 – Предельно допустимые концентрации вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки

В миллиграммах на дециметр кубический

Показатель	Норматив (предельно допустимые концентрации ПДК), не более	Показатель вредности	Класс опасности
Хлор <sup>1</sup> ): – остаточный свободный – остаточный связанный	В пределах 0,3–0,5 В пределах 0,8–1,2	орг.	3
Хлороформ (при хлорировании воды)	0,2 <sup>2</sup> )	с.-т.	2
Озон остаточный <sup>3</sup> )	0,3	орг.	
Формальдегид (при озонировании воды)	0,05	с.-т.	2
Полиакриламид	2,0	с.-т.	2
Активированная кремнекислота (по Si)	10	с.-т.	2
Полифосфаты (по PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	3,5	орг.	3
<p><sup>1</sup>) При обеззараживании воды свободным хлором время его контакта с водой должно составлять не менее 30 мин, связанным хлором – не менее 60 мин. Контроль за содержанием остаточного хлора производится перед подачей воды в распределительную сеть. При одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора их общая концентрация не должна превышать 1,2 мг/дм<sup>3</sup>. В отдельных случаях по согласованию с органами госнадзора может быть допущено повышенная концентрация хлора в питьевой воде.</p> <p><sup>2</sup>) Норматив принят в соответствии с рекомендациями ВОЗ.</p>			

<sup>3)</sup> Контроль за содержанием остаточного озона производится после камеры смешения при обеспечении времени контакта не менее 12 мин.

**Таблица 4 – Нормативы по органолептическим свойствам питьевой воды**

Показатель	Норматив, не более
Запах, бал.	2
Привкус, бал.	2
Цветность, град.	20 (35)
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	1,5 (2,0)
<i>Примечание</i> – Величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача соответствующей территории для конкретных систем водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.	

**Таблица 5 – Нормативы по показателям общей  $\alpha$ - и  $\beta$ -активности**

Показатель	Норматив, не более	Показатель вредности
Общая $\alpha$ -радиоактивность, Бк/дм <sup>3</sup>	0,1	Радиаци.
Общая $\beta$ -радиоактивность, Бк/дм <sup>3</sup>	1,0	»

#### 4 КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Воды поверхностных источников водоснабжения подразделяются:

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

- маломутные – до 50 мг/дм<sup>3</sup>;
- средней мутности – св.м50 до 250 мг/дм<sup>3</sup>;
- мутные – св. 250 до 1500 мг/дм<sup>3</sup>;
- высокомутные – св. 1500 мг/дм<sup>3</sup>;

б) в зависимости от расчетного максимального содержания гумусовых веществ, обуславливающих цветность воды:

- малоцветные – до 35<sup>0</sup>;
- средней цветности – св. 35 до 120<sup>0</sup>;
- высокой цветности – св. 120<sup>0</sup>.

В зависимости от качества воды и требуемой степени обработки для доведения ее до показателей СанПиН 10–124 РБ–99 водные объекты, пригодные в качестве источников хозяйственно–питьевого водоснабжения, делят на 3 класса согласно ГОСТ 2761–84.

Показатели качества воды источников водоснабжения указаны в таблице 6.

**Таблица 6 – Классификация подземных и поверхностных вод, применяемых в качестве источников хозяйственно–питьевого водоснабжения**

Наименование показателя	Показатели качества воды источника по классам		
	1	2	3
<b>Подземные источники</b>			
Мутность, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1,5	1,5	10,0
Цветность, градусы, не более	20	20	50

Окончание таблицы 6

Наименование показателя	Показатели качества воды источника по классам		
	1	2	3
Водородный показатель (рН)	6–9	6–9	6–9
Железо, (Fe), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,3	10	20
Марганец (Mn), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,1	1	2
Сероводород (H <sub>2</sub> S), мг/дм <sup>3</sup> , не более	Отсутствие	3	10
Фтор (F), мг/дм <sup>3</sup> , не более	1,5–0,7*	1,5–0,7*	5
Окисляемость перманганатная, мгО/дм <sup>3</sup> , не более	2	5	15
Число бактерий группы кишечных палочек (БГКП), в 1 дм <sup>3</sup> , не более	3	100	1000

**Поверхностные источники**

Мутность, мг/дм <sup>3</sup> , не более	20	1500	10000
Цветность, градусы, не более	35	120	200
Запах при 20 и 60 °С, баллы, не более	2	3	4
Водородный показатель (рН)	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5
Железо (Fe), мг/дм <sup>3</sup> , не более	1	3	5
Марганец (Mn), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,1	1,0	2,0
Фитопланктон, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1	5	50
кл/см <sup>3</sup> , не более	1000	100000	100000
Окисляемость перманганатная, мгО/дм <sup>3</sup> , не более	7	15	20
БПК <sub>полн</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> , не более	3	5	7
Число лактозоположительных кишечных палочек в 1 дм <sup>3</sup> воды (ЛКП), не более	1000	10000	50000

\* В зависимости от климатического района.

*Примечание* – Количество одноклеточных организмов оценивается в кл/см<sup>3</sup>, пленчатых и нитчатых – в мг/дм<sup>3</sup>.

## 5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОСВЕТЛЕНИЯ ВОДЫ

### 5.1 Технологические процессы и сооружения

Основными процессами улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых целей являются осветление, обесцвечивание, обезжелезивание, обеззараживание и фторирование.

**Осветление воды**, т. е. устранение из нее взвешенных примесей, в зависимости от требуемой степени осветления может быть достигнуто: отстаиванием воды в отстойниках; центрифугированием в гидроциклонах; путем пропуска ее через слой ранее образованного взвешенного осадка в так называемых осветлителях; фильтрованием через слой фильтрующего порошка на намывных фильтрах или через слой зернистого фильтрующего материала в скорых фильтрах; фильтрованием через сетки на микрофильтрах, барабанных ситах, акустических фильтрах и т. д.

Для ускорения процесса осаждения взвеси применяют ее коагулирование, для чего в воду добавляют химические вещества – коагулянты. В результате образуются плотные крупные агрегаты, на поверхности которых адсорбируются примеси, хлопья, быстро осаждающиеся и увлекающие за собой частицы взвеси. Вводимый в обрабатываемую воду коагулянт должен быть хорошо и быстро перемешан с ней в смесителях. При применении отстойников вода из смесителя поступает в камеру хлопьеобразования, где обеспечиваются оптимальные условия для формирования хлопьев. Затем вода передается в отстойник, где хлопья осаждаются вместе с адсорбированными на их поверхности примесями воды.

Процесс коагулирования примесей воды может протекать в контактной среде в осветлителях со слоем взвешенных хлопьев или в контактных осветлителях со статическим зернистым слоем. Осветление воды в первом случае обычно заканчивается ее фильтрованием на скорых фильтрах, а во втором – в результате контактного коагулирования примесей воды при ее фильтровании достигается сразу требуемая степень осветления.

Выделение из воды грубодисперсных взвесей может быть успешно осуществлено центрифугированием в гидроциклонах с последующим доосветлением на скорых фильтрах в одну или две степени. Осветление воды достигается при ее фильтровании через сетки на микрофильтрах или через ткани на тканевых фильтрах. Осветление воды наряду с ее обесцвечиванием достигается при флотации примесей воды во флотаторах.

**Обесцвечивание воды**, т. е. удаление из нее окрашенных коллоидов или истинно растворенных примесей, обуславливающих цветность воды, может быть достигнуто при коагулировании или флотации применением окислителей или сорбентов. Наиболее широко для этой цели используют хлорирование, фильтрование через гранулированный активный уголь и озонирование воды. Хорошие результаты по обесцвечиванию воды дает напорная флотация, которой обязательно предшествует коагулирование примесей воды.

**Обезжелезивание воды** – снижение содержания солей железа до требований СанПиН 10-124 РБ-99 наиболее часто используют при централизованном водоснабжении из подземных источников. В

зависимости от форм соединения железа, присутствующих в воде, применяют безреагентные или реагентные методы удаления железа.

**Фторирование** питьевой воды осуществляется путем внесения в нее соединений фтора для предотвращения заболевания кариесом зубов. Раствор фторсодержащего реагента вводят в обрабатываемую воду до или после скорых фильтров.

**Обеззараживание** воды производят для уничтожения содержащихся в ней патогенных бактерий и вирусов. Частично это достигается при коагулировании примесей воды, но наиболее хорошие результаты получаются при введении в воду после фильтрования окислителей: хлора и его производных, озона, перманганата калия.

При доведении качества воды до питьевой кондиции помимо вышеописанных процессов иногда применяют дезодорацию (удаление нежелательных привкусов и запахов), используя аэрацию, окислители и сорбенты; умягчение (удаление солей жесткости); введение в воду щелочных реагентов; высаживание в осадок солей жесткости; опреснение (снижение общей минерализации воды) дистилляцией ионным обменом, гиперфильтрацией или электродиализом и др.

## 5.2 Классификация технологических схем

Сочетание необходимых технологических процессов и сооружений составляет технологическую схему улучшения качества воды. Используемые в практике водоподготовки технологические схемы можно классифицировать по следующим основным признакам: реагентные и безреагентные; по эффекту осветления; по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них; напорные и безнапорные.

**1 Реагентные и безреагентные технологические схемы** применяют при подготовке воды для хозяйственно-питьевых целей и нужд промышленности. Указанные технологические схемы существенно отличаются по размерам водоочистных сооружений и условиям их эксплуатации (рисунки 1 и 2). Процессы обработки воды с применением реагентов протекают интенсивнее и значительно эффективнее. Так, для осаждения основной массы взвешенных веществ в первом случае необходимо 2–4 ч, а во втором – несколько суток. С использованием реагентов фильтрование осуществляется со скоростью 5–12 м/ч и более, а без реагентов (медленное фильтрование) – 0,1–0,3 м/ч.

При обработке воды с применением реагентов водоочистные сооружения значительно меньше по объему, компактнее и дешевле в строительстве, но сложнее в эксплуатации, чем сооружения безреагентной схемы. Поэтому безреагентные технологические схемы (с гидроциклонами, акустическими, намывными и медленными фильтрами),

как правило, применяют для водоснабжения небольших водопотребителей при цветности исходной воды до 50 град.

Безреагентные схемы широко используют для неглубокого осветления воды при водоснабжении промышленных объектов. В ряде случаев для этих целей применяют одно отстаивание или одно фильтрование на грубозернистых фильтрах или микрофильтрах.

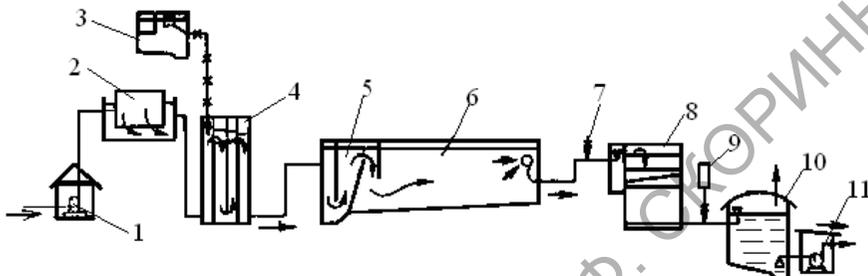


Рисунок 1 – Основная технологическая схема:

- 1 – насосная станция I подъема; 2 – барабанные сетки (вариант); 3 – реагентное хозяйство; 4 – перегородчатый (вариант) смеситель; 5 – вихревая камера хлопьеобразования; 6 – горизонтальный отстойник; 7 – ввод реагентов для дезодорации, фторирования или интенсификации процесса фильтрования; 8 – скорый фильтр; 9 – установка для обеззараживания воды; 10 – резервуар чистой воды; 11 – насосная станция II подъема

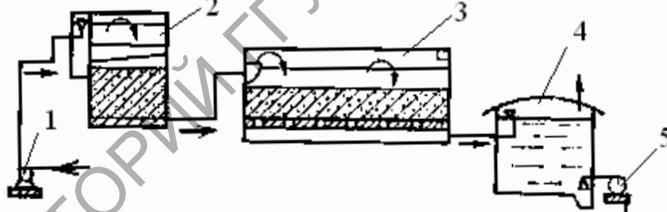


Рисунок 2 – Технологическая схема с медленными фильтрами:

- 1 – насосная станция I подъема; 2 – предварительный скорый фильтр; 3 – медленный фильтр; 4 – резервуар чистой воды; 5 – насосная станция II подъема

**2 По эффекту осветления** различают технологические схемы для *полного* или *глубокого*, *неполного* или *грубого* осветления воды. В первом варианте очищенная вода соответствует требованиям питьевой воды (см. СанПиН 10-124 РБ-99). Во втором варианте содержание взвеси в очищенной воде во много раз больше – 50–100 мг/дм<sup>3</sup>. Обычно

грубоосветленную воду используют для целей охлаждения различного производственного оборудования. Технологические схемы для глубокого осветления воды применяют как для хозяйственно-питьевых, так и для многих производственных водопроводов, где к качеству технической воды предъявляют высокие требования. Схемы для неполного осветления воды обычно используют для подготовки технической воды.

**3 По числу технологических процессов и числу ступеней** каждого из них технологические схемы подразделяют на *одно-, двух- и много-процессные*. Так, усовершенствованная технологическая схема, показанная на рисунке 3, является двухпроцессной.

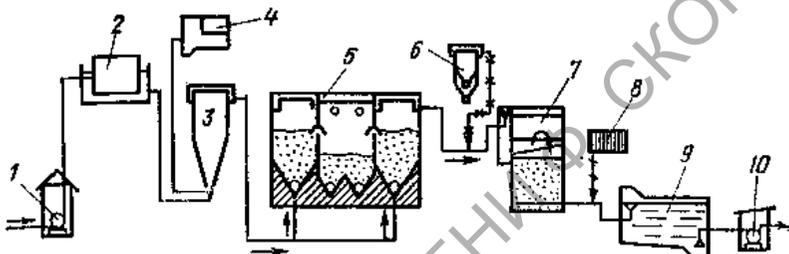


Рисунок 3 – Усовершенствованная технологическая схема:

- 1 – насосная станция I подъема; 2 – барабанные сетки (вариант); 3 – вертикальный смеситель; 4 – реагентное хозяйство; 5 – осветлитель со взвешенным осадком; 6 – установки для дезинфекции, фторирования или интенсификации процесса фильтрования; 7 – скорый фильтр; 8 – установка для обеззараживания воды; 9 – резервуар чистой воды; 10 – насосная станция II подъема

Здесь два основных технологических процесса: обработка воды в слое взвешенного осадка и фильтрование. Оба процесса осуществляются последовательно и однократно (в одну ступень). Аналогичное можно сказать о технологической схеме с флотатором (рисунок 4).

В том случае, когда один из основных технологических процессов осуществляется дважды или большее число раз, технологическая схема называется двух-, трех- или многоступенчатой. Например, на рисунке 5 показан пример однопроцессной технологической схемы с контактными осветлителями. Здесь основной технологический процесс – фильтрование – осуществляется дважды. Очевидно, что число технологических процессов и количество ступеней каждого из них диктуются требованиями к воде, предъявляемыми потребителем, и зависят от качества исходной воды.

Так, для грубого осветления воды можно ограничиться процессом осаждения, центрифугирования или только фильтрованием, в то время как при обработке высокомутных вод для хозяйственно-питьевых целей прибегают к осаждению в две ступени с последующим фильтрованием в одну

ступень или применяют технологическую схему, предусматривающую предварительное осветление воды в гидроциклонах с последующей очисткой по технологическим схемам, показанным на рисунках 1 или 3.

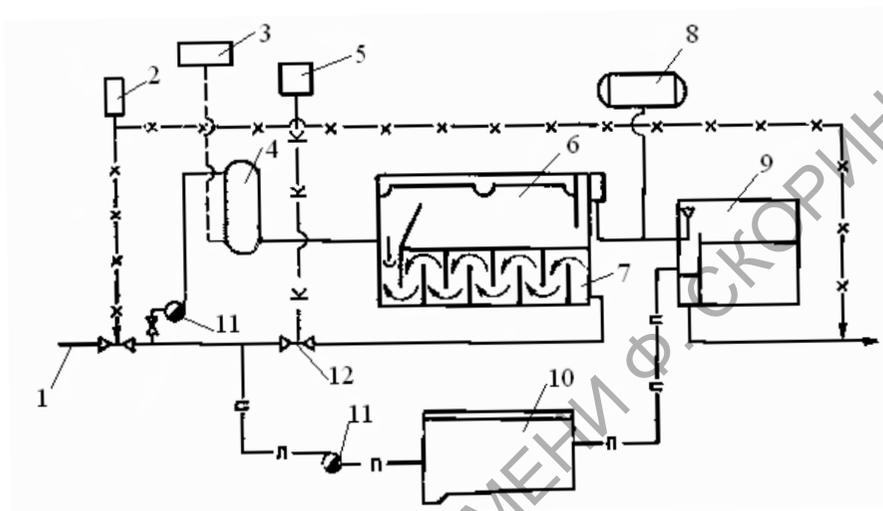


Рисунок 4 – Технологическая схема с флотатором:

1 – барабанные сетки; 2 – установка обеззараживания воды; 3 – компрессор; 4 – напорный бак; 5 – реагентное хозяйство; 6 – флотатор; 7 – камера хлопьеобразования; 8 – установки для дезодорации и фторирования воды; 9 – скорый фильтр; 10 – сооружение оборота промывной воды; 11 – насос; 12 – смеситель

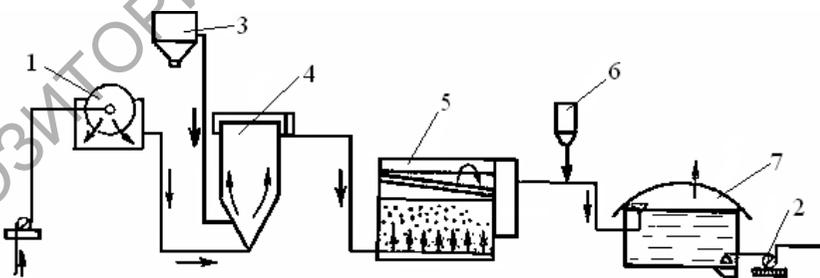


Рисунок 5 – Технологическая схема с контактными осветлителями и микрофильтрами:

1 – микрофильтр; 2 – насосная станция II подъема; 3 – реагентное хозяйство; 4 –

вертикальный смеситель; 5 – контактный осветлитель; 6 – установка для фильтрования и обеззараживания воды; 7 – резервуар чистой воды

**4 По характеру движения обрабатываемой воды** технологические схемы подразделяют на *самотечные (безнапорные)* и *напорные*. На городских и крупных промышленных водоочистных комплексах движение исходной воды по сооружениям осуществляется самотеком. При этом уровень воды в каждом, последующем сооружении ниже уровня в предыдущем. Разность уровней определяет напор, необходимый для преодоления гидравлических сопротивлений внутри сооружения и в коммуникациях от одного сооружения к другому. Поэтому увязка взаимного расположения отдельных очистных сооружений технологической схемы, т. е. построение высотной схемы, имеет первостепенное значение.

При напорной технологической схеме движение обрабатываемой воды от сооружения к сооружению происходит под давлением выше атмосферного, поэтому отдельные сооружения можно расположить на одной отметке. Напорные очистные сооружения должны быть герметично закрытыми и рассчитаны на давление, развиваемое насосами. Уместно отметить, что при использовании технологических схем резервуары чистой воды и насосная станция II подъема иногда могут не устраиваться. В отдельных случаях очищенная вода под напором насосов I подъема передается непосредственно в сеть потребителей. Наоборот, при безнапорном движении воды по очистным сооружениям необходимы две насосные станции и резервуары чистой воды (см. рисунок 1).

### 5.3 Выбор технологической схемы

При выборе сооружений для осветления и обесцвечивания воды рекомендуется руководствоваться указаниями [1] согласно таблицам 7, 8.

Таблица 7 – Предварительный выбор технологической схемы для осветления и обесцвечивания воды

Основные сооружения	Условия применения схемы				Производительность станции, м <sup>3</sup> /сут
	Мутность воды, мг/дм <sup>3</sup>		Цветность воды, град		
	исходной	очищенной	исходной	очищенной	
<i>Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов</i>					
1 Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование):					
а) напорные	До 30	До 1,5	До 50	До 20	До 5000
б) открытые	» 20	» 1,5	» 50	» 20	» 50000
2 Вертикальные отстойники –	»	» 1,5	» 120	» 20	» 5000

скорые фильтры	1500				
3 Горизонтальные отстойники – скорые фильтры	» 1500	» 1,5	» 120	» 20	Св. 30000
4 Контактные префильтры – скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	» 300	» 1,5	» 120	» 20	Любая

*Окончание таблицы 7*

Основные сооружения	Условия применения схемы				Производи тельность станции, м <sup>3</sup> /сут
	Мутность воды, мг/дм <sup>3</sup>		Цветность воды, град		
	исходн ой	очищенн ой	исходн ой	очищенн ой	
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	» 1,5	» 120	» 20	Любая
7 Контактные осветлители	До 120	» 1,5	» 120	» 20	»
8 Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком для частичного осветления воды	» 1500	8–15	» 120	» 40	»
9 Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	» 80	До 10	» 120	» 30	»
10 Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	Св. 1500	» 250	» 120	» 20	»
11 Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления (типа «Струя»)	До 1000	» 1,5	» 120	» 20	До 800
<i>Обработка воды без применения коагулянтов и флокулянтов</i>					
12 Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	До 150	30–50% исходно й	До 120	Такая же, как исходна я	Любая
13 Радиальные отстойники для частичного осветления воды	более 1500	30-50% исходно й	» 120	То же	»
14 Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией	До 1500	1,5	» 50	До 20	»

песка					
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Мутность указана суммарная, включая образующуюся от введения реагентов.</p> <p>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.</p> <p>3 При обосновании для обработки воды допускается применять сооружения, не указанные в таблице 15 (плавучие водозаборы-осветлители, гидроциклоны, флотационные установки и др.).</p> <p>4 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 <math>\pm 1</math> °C в 1 ч.</p>					

**Таблица 8 – Технологические схемы очистки подземных вод от природных загрязнений по классам для питьевого водоснабжения (условия применения:  $t \geq 6$  °C; при  $t \leq 3$  °C в технологию обработки включается стадия нагревания исходной воды)**

Условия применения	Технологические схемы	Степень очистки
Мутность $\leq 1,5$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 20$ град., Fe $\leq 0,3$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,1$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 2$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 3$ , общее микробное число $\leq 20$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , T $\geq 6$ °C; CO <sub>2</sub> св. $\leq 200$ мг/л, CO <sub>2</sub> agr. > 0, IL < 0	Глубокая аэрация, стабилизация, обеззараживание	IL $\geq 0,3$ ( $\mu\text{CaCO}_3 = 4-10$ мг/дм <sup>3</sup> )
Мутность $\leq 1,5$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 20$ град., Fe $\leq 0,3$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,1$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 2$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 3$ , общее микробное число $\leq 20$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , T $\leq 3$ °C, CO <sub>2</sub> св. $\leq 200$ мг/дм <sup>3</sup> ; CO <sub>2</sub> agr > 0, IL < 0	Нагрев до 6 °C, аэрация-дегазация, реагентная стабилизация, обеззараживание	»
Мутность $\leq 1,5$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 20$ град., Fe $\leq 3$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,1$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 5$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 100$ , общее микробное число $\leq 50$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , CO <sub>2</sub> св. $\leq 45$ мг/дм <sup>3</sup> , pH $\geq 6,8$ , IL < 0	Упрощенная аэрация, фильтрация, стабилизация, обеззараживание	Fe < 0,3 мг/дм <sup>3</sup> , Mn < 0,1 мг/дм <sup>3</sup>

Мутность $\leq 1,5$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 20$ град., Fe $\leq 5$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,5$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 5$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 100$ , общее микробное число $\leq 50$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , CO <sub>2</sub> св. $\leq 45$ мг/дм <sup>3</sup> , pH $\geq 7,2$	Глубокая аэрация, «сухое фильтрование», стабилизация, обеззараживание	
Мутность $\leq 1,5$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 20$ град., Fe $\leq 10$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 1,0$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 5$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 100$ , общее микробное число $\leq 50$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , CO <sub>2</sub> св. $\leq 200$ мг/дм <sup>3</sup> ; pH $\geq 6,0$	Биосорбция, фильтрование, стабилизация, обеззараживание	Fe $\leq 0,05$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,05$ мг/дм <sup>3</sup>
Мутность $\leq 10$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 50$ град., Fe $\leq 15$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 1,0$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 15$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 1000$ , общее микробное число $\leq 100$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , CO <sub>2</sub> св. $\leq 200$ мг/л; pH $\geq 6,0$	Биосорбция, фильтрование, стабилизация, обеззараживание	Fe $\leq 0,3$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,1$ мг/дм <sup>3</sup>

Продолжение таблицы 8

Условия применения	Технологические схемы	Степень очистки
Мутность $\leq 10$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 50$ град., Fe $\leq 20$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 2$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 15$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 1000$ , общее микробное число $\leq 100$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , F $< 1,5$ мг/дм <sup>3</sup> , CO <sub>2</sub> св. $\leq 200$ мг/дм <sup>3</sup> ; pH $\geq 6,0$	Биосорбция, ввод перманганата калия, фильтрование, стабилизация, обеззараживание	Fe $\leq 0,1$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,05$ мг/дм <sup>3</sup>
	Глубокая аэрация, фильтрование, озонирование, сорбция на ГАУ, стабилизация, обеззараживание	Fe $\leq 0,1$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,05$ мг/дм <sup>3</sup>
Мутность $\leq 10$ мг/дм <sup>3</sup> , цветность $\leq 50$ град., Fe $\leq 20$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 1,0$ мг/дм <sup>3</sup> , окисляемость $\leq 15$ мг/дм <sup>3</sup> , коли-индекс $\leq 1000$ , общее микробное число $\leq 100$ кл/см <sup>3</sup> , сухой остаток $\leq 1000$ мг/дм <sup>3</sup> , CO <sub>2</sub> св. $\leq 200$ мг/л; pH $\geq 6,0$	Глубокая аэрация, фильтрование, озонирование, сорбция на ГАУ, обесфторивание на фильтре с активированным оксидом алюминия,	Fe $\leq 0,1$ мг/дм <sup>3</sup> , Mn $\leq 0,05$ мг/дм <sup>3</sup> , F = (0,7–1,5) мг/дм <sup>3</sup>

<p>Мутность <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>, цветность <math>\leq 70</math> град.,  <math>Fe \leq 25</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>Mn \leq 3,0</math> мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>,  коли-индекс <math>&gt; 1000</math>,  общее микробное число <math>\leq 200</math> кл/см<sup>3</sup>,  сухой остаток <math>\leq 1000</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>F \leq 1,5</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>CO_2</math>св. <math>\leq 200</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>pH \geq 6,0</math>, <math>I_L &lt; 0</math></p>	<p>Глубокая аэрация,  коагуляция,  флокуляция,  фильтрация,  озонирование, сорбция  на ГАУ, стабилизация,  обеззараживание</p>	<p><math>Fe \leq 0,1</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn \leq 0,1</math>  мг/дм<sup>3</sup>, <math>I_L = 0,3</math></p>
<p>Мутность <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>, цветность <math>\leq 70</math> град.,  <math>Fe \leq 30</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>Mn \leq 5</math> мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>,  коли-индекс <math>&gt; 1000</math>,  общее микробное число <math>\leq 200</math> кл/см<sup>3</sup>,  сухой остаток <math>\leq 1000</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F \leq 7</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>CO_2</math>св. <math>\leq 200</math> мг/дм<sup>3</sup>; <math>pH \geq 6,0</math></p>	<p>Глубокая аэрация,  коагуляция,  фильтрация,  озонирование, сорбция  на ГАУ, фильтрование  на активированном  оксиде алюминия,  стабилизация,  обеззараживание</p>	<p><math>Fe &lt; 0,3</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn &lt; 0,1</math> мг/дм<sup>3</sup>  <math>F = (0,7-1,5)</math>  мг/дм<sup>3</sup>,  <math>I_L &gt; 0</math></p>
<p>Мутность <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>, цветность <math>\leq 70</math> град.,  <math>Fe \leq 3</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>Mn \leq 5</math> мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>,  коли-индекс <math>&gt; 1000</math>,  общее микробное число <math>\leq 200</math> кл/см<sup>3</sup>,  сухой остаток <math>\leq 2000</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F \leq 7</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>CO_2</math>св. <math>\leq 200</math> мг/дм<sup>3</sup>; <math>pH \geq 6,0</math></p>	<p>Биосорбция,  коагуляция,  флокуляция,  фильтрация, ввод  перманганата калия,  фильтрование,  электродиализ,  сорбция на ГАУ,</p>	<p><math>Fe &lt; 0,1</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn &lt; 0,05</math>  мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F \leq 1,5</math> мг/дм<sup>3</sup>,  сухой остаток до  400 мг/дм<sup>3</sup></p>

Продолжение таблицы 8

Условия применения	Технологические схемы	Степень очистки
<p>Мутность <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>, цветность <math>\leq 70</math> град.,  <math>Fe \leq 30</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>Mn \leq 5</math> мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость <math>\leq 20</math> мг/дм<sup>3</sup>,  коли-индекс <math>&gt; 1000</math>,  общее микробное число <math>\leq 200</math> кл/см<sup>3</sup>,  сухой остаток <math>\leq 1000</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F \leq 7</math> мг/л, <math>CO_2</math>св. <math>\leq 200</math> мг/л, <math>pH \geq 6,0</math></p>	<p>Биосорбция,  коагуляция,  флокуляция,  фильтрация,  фильтрование через  модифицированную  KMnO<sub>4</sub> загрузку,  фильтрование через  активированный оксид  алюминия,</p>	<p><math>F \leq 0,7-1,5</math>  мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Fe \leq 0,3</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn \leq 0,1</math> мг/дм<sup>3</sup></p>
<p>Мутность <math>\leq 50</math> мг/дм<sup>3</sup>, цветность <math>\leq 100</math> град.,  <math>Fe \leq 40</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>Mn \leq 7</math> мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость <math>&gt; 25</math> мг/дм<sup>3</sup>,  коли-индекс <math>&gt; 1000</math>,  общее микробное число <math>\leq 1000</math> кл/см<sup>3</sup>,  сухой остаток <math>\leq 5000</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F \leq 7</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>CO_2</math>св. <math>\leq 200</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>pH \geq 6,0</math>,  <math>I_L &lt; 0</math></p>	<p>Глубокая аэрация,  преозонирование.  фильтрация,  озонирование,  фильтрация,  электродиализ, сорбция  на ГАУ, стабилизация,  обеззараживание</p>	<p><math>Fe \leq 0,1</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn \leq 0,05</math>  мг/дм<sup>3</sup>, <math>F \leq 1,5</math>  мг/дм<sup>3</sup>, сухой  остаток – до  500 мг/дм<sup>3</sup></p>

<p>Мутность <math>\leq 50</math> мг/дм<sup>3</sup>, цветность <math>\leq 100</math> град.,  <math>Fe \leq 40</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>Mn \leq 7</math> мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость <math>&gt; 25</math> мг/дм<sup>3</sup>,  коли-индекс <math>&gt; 1000</math>,  общее микробное число <math>\leq 1000</math> кл/см<sup>3</sup>,  сухой остаток <math>\leq 5000</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F \leq 10</math> мг/л, <math>CO_2_{св.} \leq 200</math> мг/л, <math>pH \geq 6,0</math></p>	<p>Глубокая аэрация,  коагуляция,  фильтрование,  озонирование,  фильтрование,  электродиализ,  сорбция на ГАУ,  стабилизация,  обеззараживание</p>	<p><math>Fe \leq 0,1</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn \leq 0,05</math>  мг/дм<sup>3</sup>,  сухой остаток  <math>\leq 300</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F = (0,7-1,5)</math>  мг/дм<sup>3</sup></p>
	<p>Биосорбция,  коагуляция,  флокуляция,  фильтрование, ввод  перманганата калия,  фильтрование,  обратный осмос,  (электродиализ)  стабилизация,  обеззараживание</p>	<p><math>Fe \leq 0,1</math> мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn \leq 0,05</math>  мг/дм<sup>3</sup>,  цветность <math>\leq 5</math>  град.,  сухой остаток –  до 300 мг/дм<sup>3</sup>,  <math>F = (0,7-1,5)</math>  мг/дм<sup>3</sup></p>

Окончание таблицы 8

Условия применения	Технологические схемы	Степень очистки
<p>Мутность – 1,7–5 мг/дм<sup>3</sup>, цветность – 10–31 град.,  <math>Fe = 0,2-12</math> мг/дм<sup>3</sup>, <math>Mn \leq 1,4</math> мг/дм<sup>3</sup>,  фенолы – 1–8 мкг/дм<sup>3</sup>,  нефтепродукты – до 4,9 мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость – 1,4–14 мг/дм<sup>3</sup>,  <math>pH = 6,3-7,8</math>, жесткость – до 2,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>,  щелочность – 2–2,8 мг-экв/дм<sup>3</sup></p>	<p>Озонирование –  фильтрование через  кварцевую загрузку –  адсорбция на ГАУ –  NaClO</p>	<p>Мутность –  0,2–0,6 мг/дм<sup>3</sup>,  цветность – до 5  град., <math>Fe =</math>  0,1–0,2 мг/дм<sup>3</sup>,  <math>Mn - 0,05-0,1</math>  мг/дм<sup>3</sup>, фенолы  – до 1 мкг/дм<sup>3</sup>,  нефтепродукты  – до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость –  0,6–0,8 мг/дм<sup>3</sup></p>

<p>Мутность – 0,4–1,5 мг/дм<sup>3</sup>,  цветность – 3–19 град.,  Fe – до 21 мг/дм<sup>3</sup>, Mn ≤ 4 мг/дм<sup>3</sup>,  фенолы = 1–3 мкг/дм<sup>3</sup>,  нефтепродукты – до 4,9 мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость – 2–5 мг/дм<sup>3</sup>,  pH = 6–8, жесткость – 4–8 мг-экв/дм<sup>3</sup>,  щелочность – 1,5–2,5 мг-экв/дм<sup>3</sup></p>	<p>Аэрация – дегазация –  коагулирование –  фильтрование через  кварцевую загрузку –  – озонирование –  адсорбция на ГАУ –  NaClO</p>	<p>Мутность – до  0,2 мг/дм<sup>3</sup>,  цветность – до  5 град., Fe =  0,05 мг/дм<sup>3</sup>, Mn  – до 0,05  мг/дм<sup>3</sup>, фенолы  – до 1 мкг/дм<sup>3</sup>,  нефтепродукты  – до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>,  окисляемость –  до 1,8 мг/дм<sup>3</sup></p>
--	---	---

## 6 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 6.1 Определение производительности водоочистной станции

Станции водоподготовки должны рассчитываться на равномерную работу в течение суток максимального водопотребления, причем должна предусматриваться возможность отключения отдельных сооружений для профилактического осмотра, чистки, текущего и капитального ремонтов. Для станций производительностью до 5000 м<sup>3</sup>/сут допускается предусматривать работу в течение части суток. Сооружения станций водоподготовки должны быть оборудованы приборами и устройствами для определения основных параметров их работы.

Коммуникации станций водоподготовки надлежит рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 20–30% больше расчетного.

Полный расход воды, поступающий на станцию, следует определять с учетом расхода воды на собственные нужды станции.

Ориентировочно **среднесуточные (за год) расходы исходной воды на собственные нужды станций** осветления, обезжелезивания и др. следует принимать: при повторном использовании промывной воды – в размере 3–4 % количества воды, подаваемой потребителям, без повторного использования – 10–14 %, для станций умягчения – 20–30 %. Расходы воды на собственные нужды станций надлежит уточнять расчетами.

Производительность очистной станции, м<sup>3</sup>/сут, составляет:

$$Q_{o.c} = \alpha Q_{сут}^{max} + Q_{доп}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент для учета расхода воды на собственные нужды станции (при сбросе осадка из отстойников или при продувке осветлителей, при промывке скорых фильтров и т. д.);

$Q_{сут}^{max}$  – расход воды для суток максимального водопотребления;

$Q_{доп}$  – объем воды на пожаротушение, м<sup>3</sup>.

$$Q_{доп} = 3,6t_{пож}(mq_{пож} + m'q'_{пож}), \quad (2)$$

$t_{пож}$  – расчетная продолжительность пожара в ч (принимается для всех случаев равной три часа);

$m$  и  $m'$  – число одновременных пожаров соответственно в населенном пункте и на промышленных предприятиях (принимается по [1]);

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

Согласно с СНБ 4.01.02-03 при числе жителей в населенном пункте более 25000 чел. расход воды следует определять как сумму необходимого большего расхода (на предприятии или в населенном пункте) и 50 % потребного меньшего расхода (на предприятии или в населенном пункте).

*Полная производительность очистной станции – это сумма полезного расхода воды, подаваемой потребителю, и расхода воды на собственные нужды станции.* Полезная производительность определяется с учетом пополнения противопожарного запаса воды.

**Пример.** Определить расчетную производительность очистной станции для города с населением 50000 человек при норме 260 л на одного жителя в сутки максимального водопотребления и значениях  $\alpha = 1,1$ ;  $m = 2$  (два одновременных пожара);  $q_{пож} = 35$  л/с;  $t_{пож} = 3$  ч.

В городе имеется промышленное предприятие с категорией пожарной опасности А, при этом расход воды на один пожар  $q_{пож} = 30$  л/с. Расход воды на внутренние пожарные краны принимаем 5 л/с. При числе жителей 25 тыс. человек и более расход воды определяется как сумма потребного большего расхода (в данном примере для населенного места) плюс 50 % меньшего расхода (в данном примере на предприятии). Следовательно, по формуле (2)

$$Q_{доп} = 3,6 \cdot [2(35 + 5) + 1(30 + 5) \cdot 0,5] = 1053 \text{ м}^3.$$

Тогда расчетная производительность станции очистки воды по формуле (1)

$$Q_{о.с} = 1,08 \frac{250 \cdot 50000}{1000} + 1053 = 14553 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

## 6.2 Микрофильтры и барабанные сетки

Особым приемом задержания взвешенных и плавающих частиц, главным образом фито- и зоопланктона водохранилищ, является микрофильтрация. **Микрофильтры** представляют собой барабаны, на которые натянуты микросетки с размерами ячеек 25–50 мкм (рисунок 6). Материал сетки – никель, фосфористая бронза, нержавеющая сталь, полимерное полотно. Размер ячеек в свету 40 мкм; при сплющивании на вальцах такой сетки размер ячеек уменьшается до 20 мкм. Скорость вращения барабанов микрофильтров не должна превышать 0,1–0,3 м/с, барабаны микрофильтров погружаются в воду на  $\frac{4}{5}$  диаметра в камере, которая служит для сбора воды, прошедшей микрофильтры. Микрофильтры являются автоматически действующими механизмами, в которых все операции осуществляются непрерывно.

Сетчатые барабанные фильтры надлежит устанавливать до подачи в воду реагентов. Скорость фильтрации принимается из расчета 10–25 л/с на 1 м<sup>2</sup> полезной площади микросетки, погруженной в воду. Потери напора на микросетке составляют до 0,2 м, общие потери напора на установке – не более 0,5 м. Промывка сетчатых барабанных фильтров должна осуществляться водой, прошедшей через них. Расходы воды на собственные нужды следует принимать: для барабанных сеток – 0,5 % и микрофильтров – 1,5 % расчетной производительности. Вода для промывки сеток подается с напором не менее 1,5 атм.

Микрофильтры задерживают от 45 до 75 % диатомовых и от 60 до 95 % сине-зеленых водорослей. Зоопланктон выделяется из воды полностью. По данным отечественной и зарубежной практики микрофильтрацией задерживается до 25–35 % взвешенных веществ. Микрофильтры целесообразно применять при содержании фитопланктона в воде источника водоснабжения более чем 1000 клеток в 1 см<sup>3</sup>.

Количество резервных сетчатых барабанных фильтров надлежит принимать: 1 – при 1–5; 2 – при 6–10; 3 – при 11 и св. рабочих агрегатов.

Установку резервных сетчатых барабанных фильтров следует предусматривать в камерах. Допускается размещение в одной камере двух агрегатов, если число рабочих агрегатов св. 5.

Камеры должны оборудоваться спускными трубами.

В подводящем канале камер следует предусматривать переливной трубопровод.

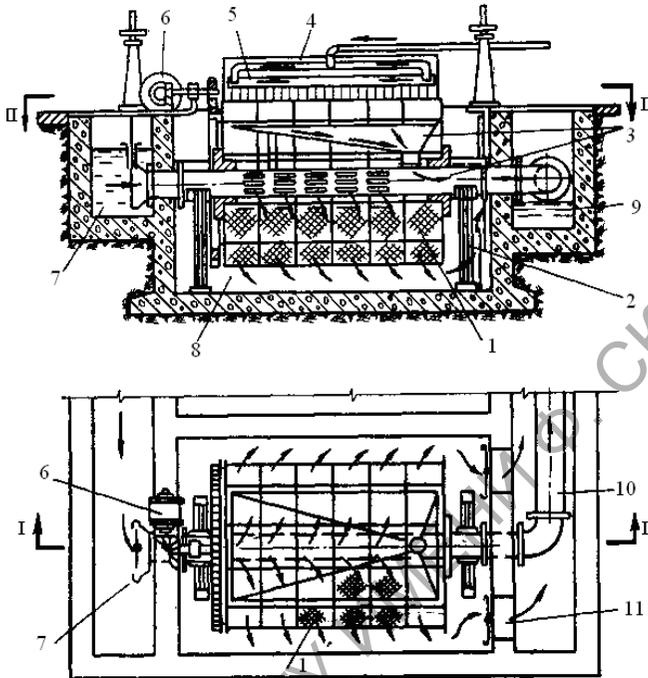


Рисунок 6 – Схема устройства микрофилтра:

- 1 – барабан со съёмными фильтрующими элементами; 2 – опора; 3 – ось барабана с желобом для сбора промывной воды; 4 – ограждение из прозрачных материалов; 5 – промывное устройство; 6 – привод; 7 – канал исходной воды; 8 – камера микрофилтра; 9 – сборный канал; 10 – трубопровод для отвода промывной воды; 11 – водосливное окно с шибером

Количество рабочих барабанных сеток и микрофилтров, шт, определяется по выражению

$$N = \frac{Q}{q}, \quad (3)$$

где  $Q$  – полная производительность станции осветления воды, м<sup>3</sup>/сут;

$q$  – производительность одной барабанной сетки или микрофилтра, м<sup>3</sup>/сут, принимаемая по таблицам 9, 10.

В зависимости от количества рабочих барабанных сеток и микрофилтров принимают резервные.

Площадь, занимаемая барабанными сетками и микрофилтрами с

учетом размеров подводящих и отводящих каналов, определяется по формуле:

$$F = n \cdot f_{\text{в}} + m_1 \cdot f_{\text{п}} + m_2 \cdot f_0, \text{ м}^2, \quad (4)$$

где  $n$  – количество ванн, в которых размещаются рабочие и резервные барабанные сетки и микрофильтры;  
 $m_1, m_2$  – количество подводящих и отводящих каналов;  
 $f_{\text{в}}, f_{\text{п}}, f_0$  – площади ванн, подводящих и отводящих каналов,  $\text{м}^2$ .

Таблица 9 – Характеристики сетчатых барабанных фильтров

Марка	Производительность, $q$ тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$	Размеры барабана, мм		Размеры ванны, мм		
		диаметр $d$	длина $l$	длина $L$	ширина $B$	расстояние от оси до дна $C$
МФ 1,5x1	4	1550	1230	2095	2660	1000
МФ 1,5x2	8	1550	2305	3160		
МФ 1,5x3	12	1550	3370	4196		
МФ 3x1,5	15	3050	1714	2606	4060	1700
МФ 3x3	30	3050	3370	4122		
МФ 3x4,5	45	3050	4744	5635		
БС 1,5x1	10	1550	1230	2095	2660	1000
БС 1,5x2	20	1550	2305	3160		
БС 1,5x3	30	1550	3370	4196		
БС 3x1,5	35	3050	1714	2606	4060	1700
БС 3x3	70	3050	3370	4122		

Наибольшее распространение в зарубежной практике нашли сетчатые напорные установки различных типов, которые в зависимости от технических характеристик сеток (размеров и формы ячеек, типа плетения), конструктивных отличий и режимов работы, применяются для очистки воды от крупных механических загрязнений, взвеси и планктона, содержащихся в воде (рисунки 7 и 8).

Использование сетчатых фильтров ограничивается, как правило, размером ячеек сетки до 75 мкм, так как применение сеток с ячейками меньших размеров приводит к резкому сокращению межпромывочного периода из-за интенсивного прироста потерь напора на фильтрующем элементе, что, с одной стороны, увеличивает расход воды на промывку и время непроизводительного простоя фильтров, а с другой стороны, повышает вероятность непредсказуемого локального прорыва осадка, накопившегося на сетке, в поливные трубопроводы.

Горизонтальные сетчатые фильтры зарубежных фирм выполнены в виде цельносварных металлических цилиндров с антикоррозионным полимерным покрытием и могут работать как в режиме автоматической промывки, так и

с ручным открытием клапана сброса промывной воды. Основные технологические и конструктивные параметры сетчатых фильтров приведены в таблице 10.

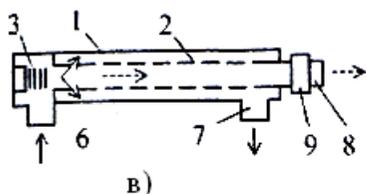
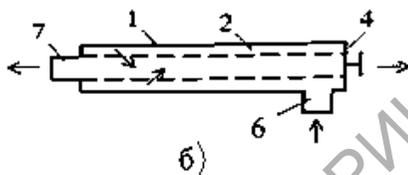
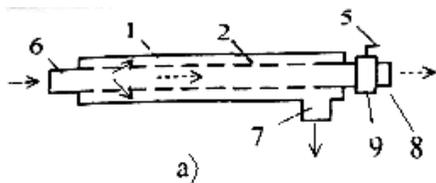


Рисунок 7 – Горизонтальные сетчатые фильтры для систем водоснабжения американских фирм "G.T. Woods Co" (а), "HoPu" (б) и "Jardncy" (в):

→ – направление движения фильтруемой воды;  
 →→ – направление движения промывной воды;

1 – корпус; 2 – сетка; 3 – струнаправляющие лопатки; 4, 5, 9 – автоматические блоки переключения режимов работы; 6–8 – соответственно подача исходной, отвод очищенной и отвод промывной воды

Рисунок 8 – Вертикальные сетчатые фильтры американских фирм "Drip-Eze" (а) и "Bergmad" (б):

→ – направление движения фильтруемой воды; ←→ – направление движения промывной; ↔ – введение жидких удобрений; 1 – корпус; 2 – сетка; 3 – быстросъемная крышка; 4 – патрубок подачи жидких удобрений; 5 – патрубок подачи исходной воды; 6 – патрубок отвода фильтрата; 7 – патрубок сброса промывной воды; 8 – гидроцилиндр; 9 – диск со щетками

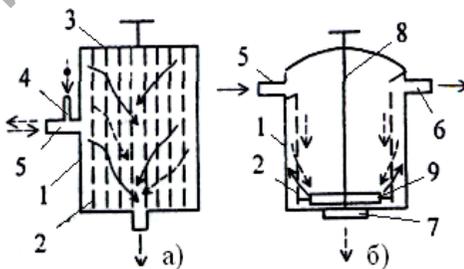


Таблица 10 – Основные технические характеристики сетчатых фильтров для систем водоснабжения

Фирма-изготовитель или организация разработчик, марка фильтра	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Диаметр фильтра, см	Длина (высота) сетки, м	Площадь сетки, м <sup>2</sup>	Скорость фильтрация, м/ч	Размер ячеек сетки (в свету), мкм
"G.I. Woods Co"	90,8	12,7	1,2	0,492	185	-
"Holly" S-100	22,7	-	-	0,21	108	500–75
S-250	56,8	-	-	0,43	132	500–75
"Jardney"	90,8	8,9	1,02	0,285	319	85
"Rain Bird", RB-400	22,7–90,8	8,9	1,5	0,419	54–217	240–75
"Drip-Eze"	17–51	12–25	0,5–1,2	0,2–1,0	51–85	-
"Bermad"	22,7	15	0,42	0,21	108	420–75
МТБ "Водстройиндустрия" ФСС-6К	21,6	0,45	0,8	0,8	42	200
УкрГипроводхоз	101	0,35	3,16	0,8	131	50

Вертикальные сетчатые фильтры (рисунок 8, а) реализуют принцип многоступенчатого фильтрования в направлении убывающего размера ячеек сетчатого полотна, для чего в корпусе фильтра предусмотрена установка 2–3 цилиндрических сеток, размещенных одна внутри другой. В результате такого расположения сеток увеличивается скорость фильтрования через них с меньшим размером ячеек. При производительности 17–34 м<sup>3</sup>/ч используются 2 сетки с ячейками 0,105 и 0,088 мм при производительности более 51 м<sup>3</sup>/ч – 3 сетки с размером ячейки соответственно 0,149; 0,105 и 0,088 мм.

Частичную отмывку сетчатых полотен осуществляют обратным током воды, а полную очистку сеток производят вручную с извлечением сетки из корпуса фильтра. Для этого верхняя крышка фильтра оборудуется быстросъемным креплением. В фильтрах такой конструкции предусмотрен специальный патрубок для ввода жидких удобрений.

Вертикальный сетчатый фильтр фирмы "Bermad" (см. рисунок 8, б) изготавливают из формованной поликарбонатной пластмассы высокой прочности. Конструктивно фильтрующий элемент выполнен в виде цилиндрической корзины, в которую вставляется сетчатое полотно из нержавеющей стали. Фильтр оснащен системой автоматической промывки, срабатывающей при заданном перепаде давлений на фильтрующем элементе.

Система выполнена в виде гидроцилиндра, на котором установлен диск со щетками, обеспечивающими очистку сетчатого полотна во время промывки. Одновременно с началом движения щеток открывается клапан сброса промывной воды. После окончания промывки с помощью

специальных пружин система возвращается в исходное положение.

На ряде зарубежных систем применяют и другие разновидности сетчатых фильтров. Так, во Франции используют сетчатые фильтры систем "Нетафим" и "Плюидор", в США – двойные сетчатые фильтры с отверстиями 0,09 и 0,07 мм. В Англии на одной из систем водоснабжения эксплуатируется нейлоновый сетчатый фильтр. В Австралии применяют в качестве очистных устройства с ячейками шириной 0,076-0,21 мм и плавучие фильтры типа "Льюис" с сеткой 0,124 мм, оборудованные системой автоматической промывки.

### **6.3 Биореакторы для биологической предочистки воды**

При проектировании блока биологической предочистки природных вод приоритетными ингредиентами качества очищаемой воды являются: перманганатная окисляемость, ХПК, хлоропоглощаемость, общее количество микроорганизмов, концентрация взвешенных веществ, температура воды, содержание планктона.

Применение метода биологической предочистки природных вод на основе естественного биоценоза водотоков и носителей прикрепленных микроорганизмов нецелесообразно при постоянно низкой температуре исходной воды ( $T < 5^{\circ}\text{C}$ ) и наличии в природной воде токсичных ингредиентов, препятствующих и подавляющих развитие микроорганизмов на носителях.

Устройство биореакторов, реализующих данный метод предочистки, возможно непосредственно в русле водотока, ковшах, приемных отделениях береговых колодцев НС-I подъема, в зданиях очистных сооружений водопровода (рисунок 9).

Производительность установок заводского изготовления и стационарных блоков биологической предочистки воды на водоочистой станции может назначаться в пределах от 5 до 150 м<sup>3</sup>/ч и более при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Конструкция биореактора может быть выполнена из блочного или сборного железобетона, труб большого диаметра, железобетонных колец. Биореактор должен быть оборудован трубопроводами подачи исходной воды, отвода фильтрата и промывной воды. Для дополнительной аэрации обрабатываемой воды и насадки биореактор оборудуют устройством для равномерного распределения воздуха по площади биореактора. Крепление элементов наживления выполняется непосредственно к армированной решетке или каркасам из переплетенной проволоки. Конструкция элементов биореактора рассчитывается таким образом, чтобы не происходило разрушение (отрыв) элементов наживления биоценоза.

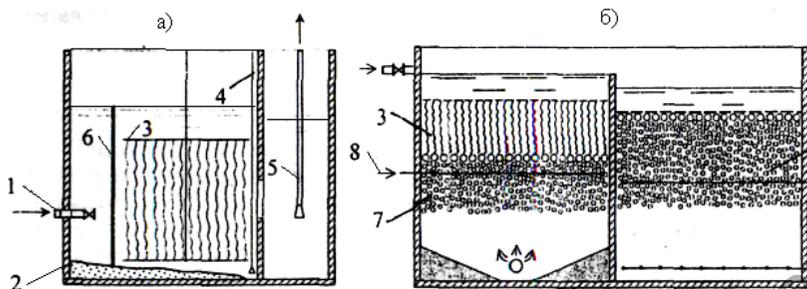


Рисунок 9 – Варианты размещения блоков биологической предочистки:

*а* – в приемном отделении берегового колодца, *б* – биореактор, совмещенный с фильтром с плавающей загрузкой; 1 – трубопровод подачи исходной воды; 2 – стенки колодца; 3 – каркас с волокнистой загрузкой; 4 – гидроэлеватор; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – перфорированная перегородка; 7 – плавающая загрузка; 8 – подача воздуха

При высоком содержании в исходной воде взвешенных веществ для увеличения эффективности очистки воды и предотвращения быстрой коагуляции загрузки, при нисходящем движении воды возможно использование предварительного нижнего слоя носителей из гранул плавающей пенополистирольной загрузки. Такая конструкция не только используется для предварительной очистки воды от различных примесей, но и обеспечивает сжатие и расширение слоя волокон в режимах фильтрования и промывки.

Расчет биореактора заключается в определении его размеров, необходимого количества наполнителя из волокнистой загрузки, производительности воздуходувки, системы химической регенерации волокон (в случае необходимости). Геометрические размеры биореактора определяют в зависимости от производительности проектируемой станции и необходимой степени очистки воды. Скорость фильтрования воды через загрузку рекомендуется принимать в пределах от 3 до 8 м/ч. Необходимое время контакта воды с поверхностью волокон ( $t_{\text{конт}}$ ), в зависимости от степени загрязнения воды органическими веществами и средней температуры воды – не менее 10 мин.

Требуемый объем волокнистой насадки в биореакторе,  $\text{м}^3$ ,

$$W_{\text{н}} = \varphi \cdot W_{\text{ак.част}}, \quad (5)$$

где  $W_{\text{ак.част}}$  – объем аппарата заполненного загрузкой,  $\text{м}^3$ :

$\varphi = 0,1-0,2$  – коэффициент наполнения объема аппарата волокнистой загрузкой

$$\varphi = \frac{d_{\text{в}}^2 l_{\text{вл}} N_{\text{в}}}{d_{\text{ак. част}}^2 H_{\text{ак. част}}}, \quad (6)$$

где  $d_{\text{в}}$  – диаметр волокна, мм;

$l_{\text{вл}}$  – длина волокна, м;

$N_{\text{в}}$  – количество волокон в биореакторе, шт.;

$d_{\text{ак. част}}$  – диаметр активной части биореактора, мм;

$H_{\text{ак. част}}$  – толщина слоя волокон, м.

Общая высота биореактора складывается из высот активной части насадки ( $H_{\text{ак. част}}$ ), надфильтрового пространства (рассчитывается, исходя из необходимого объема промывной воды), отстойной части (конструктивно может быть принята от 0,5 до 1 м) и необходимого строительного запаса (0,1–0,3 м).

$H_{\text{ак. част}}$  находится исходя из принятой скорости фильтрования и требуемого времени контакта воды с загрузкой.

Полный цикл работы биореактора в часах рассчитывается как сумма продолжительности его работы до окончания "зарядки" ( $t_{\text{зар}}$ ), полезного периода работы ( $t_{\text{п}}$ ) и периода промывки биореактора водой или регенерацией носителей от избыточной биомассы с использованием обеззараживающих реагентов ( $t_{\text{пром}}$ ):

$$t_{\text{пол}} = t_{\text{зар}} + t_{\text{п}} + t_{\text{пром}} \quad (7)$$

$$t_{\text{зар}} = \frac{19,5v^{0,4}}{T^{0,9} \varphi t_{\text{конт}}^{0,2} \text{ПО}^{0,33}}, \quad (8)$$

$$t_{\text{п}} = \frac{3321 t_{\text{конт}}^{0,32}}{T^{0,34} \varphi^{0,48} v^{0,63} \text{ПО}^{0,6}}, \quad (9)$$

где  $v$  – скорость фильтрования воды через загрузку, м/ч;

$T$  – температура исходной воды, °С;

ПО – перманганатная окисляемость исходной воды, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Элементы наживления (волокна, гранул ПСВ, керамзита, щебня, редоксита и др.) должны быть стойкими по отношению к действию микроорганизмов, обладать высокой прочностью и стойкостью, не растворяться в агрессивных средах. Предпочтение следует отдавать волокнистым

материалам с высокоразвитой удельной поверхностью (например, капрон, лавсан и др.). Все материалы должны быть разрешены Минздравом Республики Беларусь к применению в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения. Исходя из диаметра нити и необходимой степени наполнения загрузкой аппарата, находится длина волокон с учетом увеличения последней на 5–10 см для крепления волокон к каркасу.

Требуемая интенсивность промывки биореактора исходной водой рекомендуется в пределах  $12\text{--}18 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$ , продолжительность промывки – до 4–6 мин.

По мере зарастания загрузки необходимо производить ее промывку. Промывка нужна для удаления избыточных загрязнений, задержанных загрузкой, и предотвращения вторичного загрязнения воды. При снижении эффективности очистки воды на биореакторе только по некоторым показателям (например, взвешенным веществам), но при достаточно высокой эффективности снижения органических соединений, определяемых по перманганатной окисляемости и ХПК, а также хлоропоглощаемости воды, интенсивность промывки и ее продолжительность составляет около  $8\text{--}10 \text{ дм}^3/\text{с}\cdot\text{м}^2$  и 1–3 мин. соответственно. При таких параметрах промывки биоценоз обрастания разрушается лишь частично и достаточно быстро восстанавливает прежнюю активность (через несколько часов), а с поверхности загрузки удаляются накопившиеся продукты метаболизма и взвешенные вещества. Для более полной десорбции загрязнений необходимая интенсивность промывки составляет  $12\text{--}18 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$  при ее продолжительности не более 4 мин.

При сильном зарастании загрузки в промывную воду дополнительно добавляют обеззараживающий раствор, например, 5 % раствора медного купороса с дозой  $2\text{--}3 \text{ мг/дм}^3$ .

В процессе эксплуатации, при изменении качества воды степень наполнения загрузкой биореактора может оперативно изменяться путем регулирования натяжения нитей или их количеством.

#### **6.4 Реагентное хозяйство**

**Коагуляцией примесей воды** называется процесс укрупнения мельчайших коллоидных и диспергированных частиц, происходящий в результате их взаимного слипания под действием сил молекулярного притяжения.

Различают два типа коагуляции:

- 1) в свободном объеме (в камерах хлопьеобразования);
- 2) контактная (в толще зернистой загрузки или в массе взвешенного осадка).

Коллоидные и тонкодисперсные примеси воды обладают определенной агрегативной устойчивостью, обусловленной наличием вокруг частиц гидратных оболочек или двойного электрического поля. Большинство коллоидных частиц природных вод в диапазоне рН 6,5–7,5 имеют на грануле отрицательный заряд. Его нейтрализация, разрушение диффузного слоя и гидратной оболочки достигаются введением в воду электролита и зольей с противоположным зарядом. В качестве электролитов (коагулянтов) применяют соли железа и алюминия.

При введении в воду коагулянтов нарушается агрегативная устойчивость, заряд частиц снижается до нуля. Такое состояние коллоидной системы называется *изоэлектрическим*. Значение рН среды при этом называется  $pH_{из}$  *изоэлектрической точки* – это такое значение рН среды, в которой находится частица, где толщина гидратной оболочки минимальна, заряд частицы равен нулю и, следовательно, силы отталкивания тоже минимальны или равны нулю.

Действие коагулянта в воде сводится к **трем основным процессам**: коагуляция (образование первичных агрегатов), флокуляция (укрупнение частиц при столкновении), соосаждение и сорбция.

*Процесс коагуляции во времени делится на две фазы:*

- пирекинетическая (весьма непродолжительна; заканчивается образованием первичных агрегатов);
- ортокинетическая (длится до 60 мин и более; заключается в слипании и формировании крупных плотных хлопьев).

При применении в качестве коагулянта сернокислого алюминия образуются малорастворимые основания солей алюминия и ионы водорода, что приводит к снижению рН воды. Это сдвигает от изоэлектрической точки гидроксид алюминия и основные его соли и ухудшает тем самым условия их коагуляции. Ионы водорода взаимодействуют с анионами щелочности воды. При недостатке щелочного резерва в воду добавляют известь или соду (делают подщелачивание). Оптимально подщелачивание производить известью, так как не образуется углекислота и получается наиболее выгодное значение рН воды. Известь также проявляет коагулирующее действие, а ее нерастворимая часть (до 70 %) действует как механический сорбент.

*Контактная коагуляция* – технологический процесс осветления и обесцвечивания воды, заключающийся в адсорбции примесей с нарушенной агрегативной устойчивостью.

**Преимущества** контактной коагуляции:

- 1) большая скорость протекания процесса коагуляции;
- 2) высокий эффект;
- 3) малые затраты коагулянта;
- 4) интенсивность прилипания мелких примесей к относительно крупным

зернам загрузки намного превосходит скорость агломерации между собой отдельных мелких частиц в свободном объеме жидкости;

5) независимость процесса от щелочности и температуры воды, меньшее влияние рН воды.

На процесс коагуляции влияют следующие факторы:

1 Анионный состав воды. При солесодержании до  $100 \text{ мг/дм}^3$  процесс протекает вяло. В воду добавляют сульфат-ионы.

2 рН воды. Чем больше разница между рН обрабатываемой воды и  $\text{pH}_{\text{из}}$ , тем больше его заряд и тем больше его агрегативная устойчивость.

3 Щелочность воды. Должно быть наличие достаточного щелочного резерва.

4 Температура воды. Вероятность соударения частиц между собой и их последующая агломерация зависят от скорости взаимного перемещения, т. е. от броуновского движения.

5 Условия перемешивания. С одной стороны, интенсивность перемешивания должна обеспечивать максимально возможное контактирование отдельных агрегатов между собой, а с другой стороны – она не должна вызывать разрушение образующихся хлопьев.

6 Быстрота смешения коагулянта с водой и равномерность его распределения. В той части воды, где доза коагулянта будет явно недостаточна, процесс коагуляции не произойдет. В другой части объема воды, где доза коагулянта в избытке, будут образовываться очень крупные рыхлые хлопья с большим количеством «захваченной» воды. Их плотность будет близка к плотности воды, и поэтому они будут находиться в состоянии безразличного равновесия, не выпадая в осадок.

В качестве коагулянтов применяют неочищенный сернокислый алюминий  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O} + m\text{SiO}_2$ , который содержит: 33 % безводного сернокислого алюминия и до 23 % нерастворенных примесей; очищенный сернокислый алюминий  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , в котором не более 1 % нерастворенных примесей; железный купорос  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ; хлорное железо  $\text{FeCl}_3$ ; алюминат натрия  $\text{NaAlO}_2$ , при коагулировании которым рН воды практически не меняется.

Обработка воды минеральными коагулянтами далеко не всегда обеспечивает должный эффект кондиционирования воды. Это вызвало необходимость введения в воду флокулянтов, которыми можно было бы активизировать процесс коагуляции. Флокулянты ускоряют процесс коагуляции, улучшают качество хлопьев (плотность, адгезионные свойства). В качестве флокулянтов применяют активированную кремнекислоту, полиакриламид (ПАА), К-4 и К-6, ВА-2, ВА-3, ВА-2Т, ВА-3М, ВА-102, ВА-212 (катионного типа). Флокулянты катионного типа (ВА-2, ВА-3, ВА-2Т, ВА-3М, ВА-102, ВА-212) предназначены для самостоятельного использования в качестве коагулянта. Применимые дозы: летом – до  $3 \text{ мг/дм}^3$ , в паводок –

0,75–1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Применяются для осветления мутных вод. При очистке цветных вод в процессах отстаивания и осветления во взвешенном слое они неэффективны. При использовании таких флокулянтов не меняется щелочность воды, не образуются привкусы и запахи. Для удаления привкусов и запахов используют порошкообразный активированный уголь, перманганат калия, озон, хлорсодержащие реагенты. Данные таблицы 11 дают представление о применяемых коагулянтах.

Таблица 11 – Применяемые реагенты и последовательность их введения

Характеристика воды	Применяемые реагенты для обработки воды	Последовательность введения реагентов в воду
Не имеющая запахов и привкусов	Хлор, коагулянт	Первичное хлорирование, через 2–3 мин – коагулянт
С запахом и привкусом, хлорфенольным запахом	1 Коагулянт, озон	Коагулянт, озон перед фильтрами или в фильтрованную воду
	2 Хлор, перманганат калия, коагулянт	Первичное хлорирование, через 10 мин – перманганат калия, через 2–3 мин – коагулянт
	3 Хлор, активный уголь, коагулянт	Первичное хлорирование, через 10–15 мин – активный уголь, через 10 мин – коагулянт Первичное хлорирование, через 2...3 мин коагулянт, активный уголь дозой до 5 мг/г перед фильтрами
	4 Хлор, перманганат калия, активный уголь, коагулянт	Первичное хлорирование, через 10 мин – перманганат калия, через 10–15 мин – активный уголь, через 10 мин – коагулянт
С запахом и привкусом, при хлорировании появляется хлорфенольный запах	1 Аммиак, хлор, коагулянт	Аммиак, через 2–3 мин – первичное хлорирование, через 2–3 мин – коагулянт
	2 Коагулянт, озон	Коагулянт, озон перед фильтрами или в фильтрованную воду
	3 Перманганат калия, хлор, коагулянт	Перманганат калия, через 10 мин – хлор, через 2–3 мин – коагулянт
	4 Аммиак, хлор, перманганат калия, коагулянт	Аммиак, через 2–3 мин – хлор, через 10 мин – перманганат калия, через 2–3 мин – коагулянт
	5 Перманганат калия, хлор, активный уголь, коагулянт	Перманганат калия, через 10 мин – хлор, через 10–15 мин – активный уголь, через 10 мин – коагулянт

*Примечания*

- 1 При недостаточной для коагуляции щелочности воды известь или соду следует вводить одновременно с коагулянтом.
- 2 Для обеззараживания хлор необходимо вводить в фильтрованную воду.
- 3 Флокулянты нужно вводить через 2–3 мин после коагулянта

### 6.4.1 Определение оптимальных доз реагента

Расчетные дозы реагентов следует устанавливать для различных периодов года в зависимости от качества исходной воды и корректировать в период накладки и эксплуатации сооружений. При этом надлежит учитывать допустимые их остаточные концентрации в обработанной воде, предусмотренные СанПиН 10-124 РБ-99 и технологическими требованиями.

Дозу коагулянта, мг/дм<sup>3</sup>, в расчете на  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  (по безводному веществу) допускается принимать при обработке: мутных вод – по таблице 12, цветных вод – по формуле

$$D_k = 4\sqrt{Ц}, \quad (10)$$

где Ц – цветность обрабатываемой воды, град.

*Примечание* – При одновременном содержании в воде взвешенных веществ и цветности принимается большая из доз коагулянта, определенных по таблице 12 и формуле (10).

**Таблица 12 – Выбор дозы коагулянта по мутности воды**

Мутность воды, мг/дм <sup>3</sup>	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/дм <sup>3</sup>
До 100	25–35
Св. 100 до 200	30–40
» 200 » 400	35–45
» 400 » 600	45–50
» 600 » 800	50–60
» 800 » 1000	60–70
» 1000 » 1500	70–80

*Примечания*

- 1 Меньшие значения доз относятся к воде, содержащей грубодисперсную взвесь.
- 2 При применении контактных осветлителей или фильтров, работающих по принципу коагуляции в зоне фильтрующей загрузки, дозу коагулянта следует принимать на 10–15 % меньше, чем по таблице 12 и формуле (10).

Дозу флокулянтов (в дополнение к дозам коагулянтов) следует принимать:

- а) полиакриламида (ПАА) по безводному продукту при его вводе:
- перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком – по таблице 13;
  - перед фильтрами при двухступенчатой очистке – 0,05–0,1 мг/дм<sup>3</sup>;
  - перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, а также перед фильтрами – 0,2–0,6 мг/дм<sup>3</sup>;
- б) активной кремнекислоты (по SiO<sub>2</sub>) при ее вводе:
- перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком для воды с температурой более 5–7 °С – 2–3 мг/дм<sup>3</sup>, с температурой менее 5–7 °С – 3–5 мг/дм<sup>3</sup>;
  - перед фильтрами двухступенчатой очистки – 0,2–0,5 мг/дм<sup>3</sup>;
  - перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, а также перед префильтрами – 1–3 мг/дм<sup>3</sup>.

**Таблица 13 – Выбор дозы флокулянта в зависимости от мутности и цветности воды**

Мутность воды, мг/дм <sup>3</sup>	Цветность воды, град.	Доза безводного ПАА, мг/дм <sup>3</sup>
До 10	Св. 50	1–1,5
Св. 10 до 100	30–100	0,3–0,6
» 100 » 500	20–60	0,2–0,5
» 500 » 1500		0,2–1

Флокулянты следует вводить в воду после коагулянта. При очистке высокомутных вод допускается ввод флокулянтов до коагулянтов. Следует предусматривать возможность ввода флокулянтов и коагулянтов с разрывом во времени до 2–3 мин в зависимости от качества обрабатываемой воды.

Дозу хлорсодержащих реагентов (по активному хлору) при предварительном хлорировании и для улучшения хода коагуляции и обесцвечивания воды, а также для улучшения санитарного состояния сооружений следует принимать 3–10 мг/дм<sup>3</sup>.

Реагенты рекомендуется вводить за 1–3 мин до ввода коагулянтов.

Дозы подщелачивающих реагентов, мг/дм<sup>3</sup>, необходимых для улучшения процесса хлопьеобразования, следует определять по формуле

$$D_{\text{щ}} = K_{\text{щ}}(D_{\text{к}}/e_{\text{к}} - \text{Щ}_0 + 1), \quad (11)$$

где  $K_{\text{щ}}$  – коэффициент, равный для извести (по CaO) – 28, для соды (по Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) – 53;

$D_{\text{к}}$  – максимальная в период подщелачивания доза безводного коагулянта, мг/дм<sup>3</sup>;

$e_{\text{к}}$  – эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/мг-экв,

принимаемая для  $Al_2(SO_4)_3$  – 57,  $FeCl_3$  – 54,  $Fe_2(SO_4)_3$  – 67;  
 $Щ_0$  – минимальная щёлочность воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>.  
Растворы реагентов следует вводить одновременно с вводом коагулянта.

#### 6.4.2 Приготовление реагентов к дозированию

Приготовление и дозирование реагентов надлежит предусматривать в виде порошков (сухое дозирование) либо растворов или суспензий (мокрое дозирование). Наиболее широкое распространение получило дозирование реагентов в виде растворов и суспензий. Это предполагает наличие в составе реагентного хозяйства специальных баков для растворения реагентов, кислотных насосов для перекачки и дозирования, воздуходушных установок и дозаторов.

**Приготовление раствора коагулянта** осуществляется в растворных и расходных баках. Со склада реагент поступает по мере надобности в растворные баки, где растворяется водой до концентраций 10–17 %. Затем после оттаивания раствор перепускают в расходные баки, где разбавляют водой до концентрации 4–10 %, а потом дозируют в обрабатываемую воду.

Концентрацию раствора коагулянта в растворимых баках, считая по чистому и безводному продукту, следует принимать: до 17 % – для неочищенного, до 20 % – для очищенного кускового, до 24 % – для очищенного гранулированного; в расходных баках – до 12 %.

Необходимая емкость растворного бака, м<sup>3</sup>,

$$W_p = \frac{qnD_k}{10000 b_p \gamma}, \quad (12)$$

где  $q$  – расчетный расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

$n$  – число часов работы станции, на которое рассчитывается количество раствора коагулянта от одного затворения;

$D_k$  – максимальная расчетная доза коагулянта в пересчете на безводный сернокислый алюминий, мг/дм<sup>3</sup>;

$b_p$  – концентрация раствора к концу растворения, %.

$\rho$  – плотность раствора, т/м<sup>3</sup>. Принимается по таблице 15.

Число часов работы станций  $n$  принимается при производительности до 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут – 12–24, 10–50 тыс. м<sup>3</sup>/сут – 8–12, более 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут – 6–8.

Для станций производительностью более 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут допускается предусматривать непрерывную заготовку раствора коагулянта, при этом емкость бака следует принимать равной 3-часовому расходу.

Вместимость расходного бака, м<sup>3</sup>,

$$W = \frac{W_p b_p}{b}, , \quad (13)$$

где  $b$  – концентрация рабочего раствора в расходном баке, %, для установок производительностью более 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут крепость дозируемого раствора целесообразно принимать равной 10 %.

При непрерывном растворении коагулянта вместимость расходных баков должна быть рассчитана на 2–4-часовую потребность в растворе.

Количество растворных баков надлежит принимать с учётом объёма разовой поставки, его вида, а также времени его растворения и должно быть не меньше трёх. Количество расходных баков должно быть не меньше двух.

Допускается растворение коагулянта непосредственно в расходных баках, оборудованных для этого колосниковой решеткой или ящиком с перфорированным дном и стенками и системой для перемешивания раствора сжатым воздухом или мешалкой. При наличии на станции горячей воды ее следует использовать для растворения коагулянтов.

Растворные баки в нижней части надо проектировать с наклонными стенками под углом 45° к горизонтали для неочищенного и 15° – для очищенного коагулянта. Трубопровод для опорожнения баков и сброса осадков в водосток принимается не менее 150 мм. При применении кускового коагулянта в баках должны быть предусмотрены съемные колосниковые решетки с прозорами 10–15 мм. По периметру у верха баков должна быть предусмотрена площадка для обслуживающего персонала.

При применении гранулированного и порошкообразного коагулянта необходимо предусматривать на колосниковой решетке сетку из кислотостойкого материала с отверстиями 2 мм.

Допускается уменьшение угла наклона стенок баков для неочищенного коагулянта до 25° при оборудовании подколосниковой части баков системой гидросмыва осадка и одновременной подаче сжатого воздуха.

Днища расходных баков имеют уклон не менее 0,05 к одной точке – к спускному трубопроводу  $d \geq 100$  мм. Трубопровод, отводящий готовый раствор, располагается выше дна бака на 100–200 мм. При применении неочищенного коагулянта забор раствора рекомендуется производить из верхних слоев по шлангу при помощи поплавка. Внутренняя поверхность баков должна быть защищена кислотостойким покрытием от коррозии раствором коагулянта.

При применении хлорного железа бочки с реагентом помещают на колосниковую решетку в закрытом боксе так, чтобы обслуживающий персонал, находясь вне бокса, мог вымывать коагулянт струей воды из BRANDSPÖYTA. Боксы снабжаются вытяжной вентиляцией.

Баки для приготовления раствора коагулянта размещаются рядом со

складом на первом этаже.

Для транспортирования раствора коагулянта следует применять кислотостойкие материалы и оборудование. В случае невозможности самотечного перепуска раствора из растворных баков в расходные предусматривается их перекачка кислотостойкими насосами, приведенными в таблице 14.

Конструкции реagentопроводов должны обеспечивать возможность их быстрой прочистки и промывки.

Для установок производительностью менее 1000 м<sup>3</sup>/сут допускается располагать реagentные баки на верхних этажах здания станции.

Таблица 14 – Характеристика насосов

Марка насоса	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	КПД, %	Мощность электродвигателя, N, кВт	Частота вращения, об/мин	Допустимый кавитационный запас, м
X50-32-125a	12,5	14,0	50	1,0	3000	3,5
X65-50-1256	25,0	12,5	62	1,35	3000	3,6
X80-65-160a	50,0	20,0	62	4,3	3000	3,8

Таблица 15 – Плотности раствора коагулянта

Вещество	Плотность раствора при концентрации %, т/м <sup>3</sup>				
	4	6	8	10	20
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1,040	1,060	1,083	1,105	1,226

**Расчет воздуходувок и воздухопроводов.** Для интенсификации процессов растворения коагулянта и перемешивания раствора в растворных и расходных баках предусматривается подача сжатого воздуха. Интенсивность подачи воздуха принимается: для растворения коагулянта 8–10 дм<sup>3</sup>/сек на 1 м<sup>2</sup>, для его перемешивания при разбавлении до нужной концентрации в расходных баках – 3–5 дм<sup>3</sup>/сек на 1 м<sup>2</sup>.

Распределение воздуха по площади баков производится при помощи дырчатых труб или шлангов из кислотостойких материалов. Диаметр отверстий (направленных вниз) в стенках воздухораспределительных труб должен быть не менее 3–4 мм. Скорость выхода воздуха из отверстий – 20–30 м/с, скорость движения воздуха в трубах – 10–15 м/с.

Расчетный расход воздуха  $Q_{\text{возд}}$  определяется как произведение площадей баков (в плане) на величину интенсивности подачи воздуха. Это позволяет подобрать воздуходувку необходимой производительности ( $W \geq Q_{\text{возд}}$ ) по таблице 16.

Таблица 16 – Характеристика воздуходувок

Избыточное давление, м	Подача воздуходувок, м <sup>3</sup> /мин, марок				Завод-изготовитель
	ВК–1,5	ВК–3	ВК–6	ВК–12	
3	1,58	3,48	6,3	10,5	Бессоновский

6	1,4	3,1	5,7	10,4	компрессорный завод
8	1,18	2,54	5,45	10,3	
10	0,91	2,09	4,9	10,2	
12	0,64	1,54	4,2	9,9	
14	0,38	0,98	3,6	9,6	
16	0,13	0,55	2,75	9,2	
18	0	0	1,9	8,9	
22	-	-	0	7,8	

Диаметр воздухопровода, м,

$$d_{\text{возд}} = \sqrt{\frac{4Q_{\text{возд}}}{\pi v}}, \quad (14)$$

где  $Q_{\text{возд}}$  – принятый расход воздуха, м<sup>3</sup>/мин;

$v$  – скорость движения воздуха в трубопроводах, м/с.

**Пример.** Произвести расчет воздуходувки и воздухопроводов при расчетном расходе воздуха:

а) для растворных баков (одновременно работают два бака) при их общей площади 8,74 м<sup>2</sup>

$$q'_{\text{возд}} = 8,74 \cdot 8 = 69,92 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

б) для расходного бака при его общей площади 10,4 м<sup>2</sup>

$$q''_{\text{возд}} = 10,4 \cdot 3 = 31,2 \text{ дм}^3/\text{с}.$$

Общий потребный расход воздуха будет равен

$$Q_{\text{возд}} = 69,92 + 31,2 = 101,12 \text{ дм}^3/\text{с} = 6,10 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

По полученному значению общего потребного расхода воздуха принимаем две воздуходувки (одна рабочая и одна резервная) марки ВК-6 с подачей 6,3 м<sup>3</sup>/мин и избыточным давлением 3 м.

Диаметр воздухопровода

$$d_{\text{возд}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,3}{3,14 \cdot 14 \cdot 60}} = 0,098 \text{ м} = 98 \text{ мм}.$$

Принимаем стандартное значение диаметра воздухопроводов равное 100 мм.

Кроме магистрального воздухопровода диаметром  $d = 100$  мм устраиваются ответвления диаметрами по 50 мм, система стояков и горизонтальных распределительных дырчатых шлангов диаметрами по 38 мм, располагаемых на взаимных расстояниях 500 мм под решетками растворных баков и по дну расходных баков.

Применение прорезиненных армированных шлангов вызывается тем, что растворы коагулянтов коррозионны по отношению к обычным стальным трубам. Аналогичные шланги диаметром 100 мм применяются для перепуска раствора из растворных баков в расходные и диаметром 50 мм – для отведения раствора реагента из баков. Вместо прорезиненных шлангов весьма целесообразно применять винилпластовые трубы тех же диаметров.

Для загрузки растворных баков реагентами применяют вагонетку грузоподъемностью до 1 т (при ее емкости  $0,5 \text{ м}^3$ ) с опрокидывающимся кузовом, а для удаления шлама из растворных баков – вагонетку без кузова, оборудованную бадьей грузоподъемностью  $0,5 \text{ т}$ . В здании реагентного хозяйства предусматривается установка тельфера грузоподъемностью 1 т.

Стенки и дно железобетонных баков для растворов реагента покрывают кислотостойкими плитками на кислотостойкой замазке или оклеивают по периметру рубероидом с защитой его изнутри дощатыми щитами.

При перемешивании раствора лопастной мешалкой число оборотов вала мешалки принимается от 20 до 40 в 1 мин, площадь лопастей мешалки –  $0,1–0,2 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема раствора в баке.

Вместимость мешалки рассчитывают по формулам 12 или 13.

Диаметр бака принимается равным его высоте

$$d = \sqrt{\frac{4W_{\text{и}}}{\pi}}, \quad (15)$$

где  $W_{\text{и}}$  – вместимость мешалки,  $\text{м}^3$ .

Длина лопасти от оси вала, м,

$$l_{\text{л}} = 0,45l_{\text{п}}, \quad (16)$$

где  $l_{\text{п}}$  – полная длина лопасти, м,  $l_{\text{п}} = d - 0,2$ .

Площадь лопастей,  $\text{м}^2$ , принимают из расчета  $0,15 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  раствора коагулянта в баке

$$f_{\text{л}} = 0,15W_{\text{и}}, \quad (17)$$

Высота каждой лопасти, м,

$$h_{\text{л}} = 0,5 \cdot \frac{l_{\text{л}}}{d}, \quad (18)$$

$$N = \frac{zc\gamma\omega^3 h}{\eta 400 g} (R^4 - r^4), \quad (19)$$

- где  $z$  – число лопастей мешалки;  
 $c$  – коэффициент сопротивления лопасти мешалки, принимаемый равным 0,2–0,5;  
 $\rho$  – плотность раствора, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\omega$  – угловая скорость мешалки, равная  $\frac{\pi n}{30}$ ,  
 $n$  – число оборотов мешалки, мин;  
 $h$  – высота лопасти, м;  
 $\eta$  – КПД передаточного механизма и редуктора;  
 $g$  – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м /сек<sup>2</sup>;  
 $R$  и  $r$  – расстояния от оси мешалки соответственно до начала и конца лопасти, м.

### 6.4.3 Хранение коагулянта

**Мокрое хранение коагулянта.** При мокром хранении коагулянта (рисунок 10) для установок большой производительности приготовление крепкого раствора (18–30 %-ного) производится в растворных баках. Крепкий раствор поступает самотеком или при помощи насосов в емкости-хранилища, располагающиеся по экономическим соображениям обычно вне здания установки.

Забор раствора для подачи в баки рабочего раствора при применении неочищенного коагулянта следует производить из верхних слоев через шланг, прикрепленный к поплавку.

Подача крепкого раствора из емкостей-хранилищ в рабочие баки может производиться кислотостойкими насосами, эжекторами или самотеком. Внутренняя поверхность емкостей-хранилищ крепкого раствора коагулянта – должна быть защищена от корродирующего действия раствора и иметь дно с небольшим уклоном к спускной трубе для периодической их промывки.

Емкости-хранилища должны быть защищены от замерзания при их расположении вне здания. Для установок средней и небольшой

производительности возможно совмещение растворных баков с баками хранения готового раствора. При таком решении эти баки предпочтительнее располагать в отапливаемом здании. В такой схеме низ баков должен иметь одно или несколько пирамидальных углублений для сбора осадка и проваливающихся через прозоры колосников мелких кусков коагулянта. Отбор крепкого раствора для подачи в баки рабочего раствора следует производить через шланг, заборный конец которого нежестко соединен с низом поплавка. Для размещения поплавка и наблюдения за ним над поверхностью раствора следует иметь свободное пространство размером 0,4–0,5 м. Поплавок и изоляция стен должны быть защищены от повреждения кусками реагента, сбрасываемого при загрузке баков на колосники.

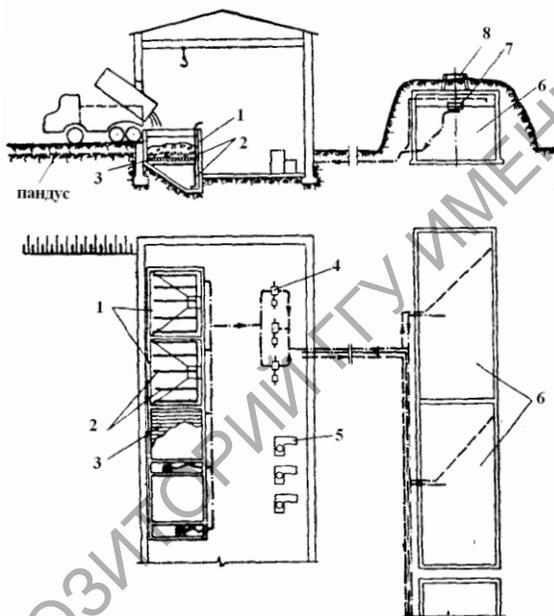


Рисунок 10 – Схема мокрого хранения коагулянта:

- 1 – затворные баки; 2 – воздухораспределительная сеть; 3 – колосники дощатые; 4 – кислотостойкие насосы; 5 – воздуходувки; 6 – емкости-хранилища крепкого раствора коагулянта; 7 – поплавковый отбор раствора; 8 – смотровой люк.

Условные обозначения:

- напорные трубопроводы;
- - - - - всасывающие трубопроводы

Для более полного использования коагулянта в низ пирамидальных углублений дна затворных баков целесообразно подводить сжатый воздух. Совмещение функций растворения реагента и хранения крепкого раствора делает установку компактной, но увеличивает мощность воздуходувок и объем здания, а для больших емкостей может увеличиваться заглубление производственной канализации.

Объем емкостей-хранилищ крепкого раствора коагулянта – обычно

определяется из расчета обеспечения работы станции на 15–30 дней (таблица 19).

При раздельной схеме расположения затворных баков и емкостей с крепким раствором площадь затворных баков должна обеспечить растворение доставленной партии реагента в короткие сроки из условия минимального простоя вагонов. Для возможности выключения на чистку и ремонт установка должна иметь не менее 3–5 баков емкостей-хранилищ.

Таблица 19 – Объем емкостей для хранения раствора сернокислого алюминия на 1 т товарного продукта

Показатели	Сорт коагулянта	
	очищенный	неочищенный
Содержание $Al_2(SO_4)_3$ в товарном продукте, %	40	33
То же, в 1 т товарного продукта, кг	400	330
Объем получаемого раствора 18%-ной крепости в пересчете на $Al_2(SO_4)_3$ , м <sup>3</sup>	2,22	1,84
Объем получаемого осадка при его разбавленности водой в 2,25 раза, м <sup>3</sup>	0,005	0,68
Суммарный объем раствора и осадка, м <sup>3</sup>	2,23	2,52
Потребляемая вода для приготовления коагулянта, м <sup>3</sup>	1,5	1,9

**Сухое хранение реагентов.** Помещение склада реагентов рассчитывается на хранение 15–30-дневного запаса реагентов в зависимости от условий доставки, считая по периоду максимального расхода. При доставке реагентов вагонами объем склада должен быть кратен объему реагента в вагоне и предусматривать прием большегрузного вагона или большегрузной цистерны при наличии на складе к моменту разгрузки 10-суточного запаса реагента.

Высота слоя реагентов на складе принимается, м:

- сернокислого алюминия навалом.....2
- извести негашеной навалом.....1,5
- железного купороса в бумажных мешка.....2–3,5
- хлорного железа в барабанах.....2,5
- активного угля в бумажных мешках .....2,5

При наличии соответствующей механизации высоту слоя коагулянта можно увеличивать до 3,5, а извести до 2,5 м.

Плотность реагента при определении размеров склада рекомендуется принимать, т/м<sup>3</sup>:

- Сернокислый алюминий навалом .....1,1–1,3
- Известь негашеная навалом.....1
- Купорос железный, хлорная известь, тексаметафосфат натрия, сода в деревянных бочках или в барабанах массой не более 120 кг, в ящиках массой не более 80 кг .....1,5
- Железо хлорное в железных барабанах с герметическими

крышками.....	1,5
Уголь активный марки ГАУ.....	0,22
Соль поваренная.....	0,8
Площадь склада, м <sup>2</sup>	

$$F = \frac{Q_{\text{сут}} D_k T \alpha}{1000 p_c \rho h_k}, \quad (20)$$

где  $D_k$  ( $D_{\text{щ}}$ ) – доза коагулянта или доза щелочи, мг/дм<sup>3</sup>;

$T$  – продолжительность хранения коагулянта на складе,  $T = 15-30$  сут;

$\alpha$  – коэффициент для учета дополнительной площади на складе, принимаем  $\alpha = 1,1-1,2$ ;

$p_c$  – содержание безводного продукта в коагулянте, %;

$\rho$  – плотность коагулянта при загрузке склада навалом, т/м<sup>3</sup>;

$h_k$  – допустимая высота слоя коагулянта, м.

Склад реагентов должен иметь устройства для механизированной выгрузки реагентов из вагонов и цистерн и механизированное удаление отходов. При мокром хранении хлорного железа, поваренной соли и железного купороса объем баков-хранилищ принимается порядка 1,5 л<sup>3</sup> на 1 т хранимого реагента, а для сернокислого алюминия – по таблице 19.

Бак объемом 15 м<sup>3</sup> для хранения крепкой серной кислоты показан на рисунке 11.

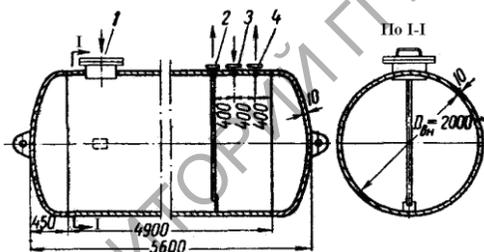


Рисунок 11 – Бак для хранения крепкой серной кислоты:

- 1 – залив кислоты; 2 – отбор кислоты; 3 – подвод сжатого воздуха; 4 – отвод воздуха в атмосферу

#### 6.4.4 Дозирование реагентов

При очистке воды в основном применяется дозирование реагентов в виде растворов и суспензий. Количество дозаторов следует принимать в зависимости от числа точек ввода и производительности дозатора, но не менее двух (один резервный).

В ряде отраслей народного хозяйства за последние годы широко применяется сухое дозирование порошкообразных продуктов. При освоении нашей промышленностью выпуска неслеживающихся порошкообразных

реагентов целесообразнее применять сухое дозирование таких реагентов.

К легкорастворимым реагентам относят: сернистый глинозем, хлорное железо, железный купорос, соду кальцинированную, натр едкий технический, соль поваренную, купорос медный и др.

По принципу действия следует различать дозаторы:

- поддерживающие постоянный расход реагента, не зависящий от изменения поступающего на очистную станцию расхода воды;
- подающие реагент пропорционально расходу обрабатываемой воды, т. е. поддерживающие заданную дозу;
- подающие реагент в количествах, необходимых для поддержания заданных параметров обработки воды.

К первой группе дозаторов постоянного расхода реагентов относят разнообразные конструкции поплавковых дозаторов (рисунок 12) и поршневые насосы-дозаторы.

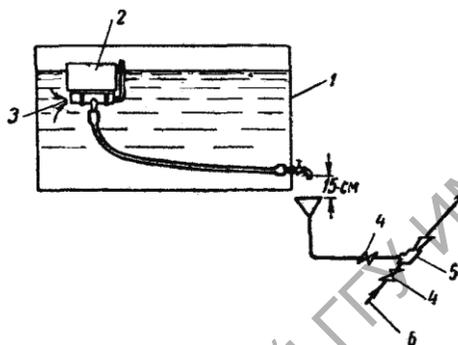
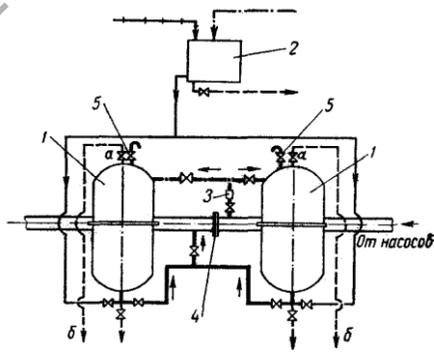


Рисунок 12 – Схема поплавкового дозатора системы В. В. Хованского:

- 1 – бак рабочего раствора реагента; 2 – поплавок; 3 – мерная шайба; 4 – запорный вентиль; 5 – эжектор; 6 – подача эжектирующей воды

Вместо эжектора (см. рисунок 12) установленный объем раствора реагента может подаваться из бака насосом-дозатором, при этом можно отказаться от разрыва.

К группе дозаторов, обеспечивающих подачу реагента пропорционально расходу обрабатываемой воды, в напорных схемах относят шайбовый дозатор (рисунок 13), который работает на перепаде давления в диафрагме трубопровода, подающего воду на станцию. Он представляет собой стальной цилиндрический бак, в сферические днища которого сварены патрубки для подачи и отвода дозируемого раствора и воды. Указанные на рисунке 13 трубопроводы «а—б» монтируются только в случае установки в корпус дозатора мешка из листовой резины.



— Отдозированный раствор реагента на смешение

- - - - - Некоагулированная вода  
 для вытеснения из  
 дозатора раствора реагента  
 — Раствор реагента из

рабочего бака к  
 дозаторам

+ + + + + Крепкий раствор реагента  
 - - - - - Вода от водопровода  
 — Отвод в канализацию

Рисунок 13 – Схема шайбового дозатора:

1 – дозаторы; 2 – бак раствора реагента; 3 – ротаметр; 4 – диафрагма; 5 – воздушники

Периодически баки заполняются раствором реагента с одновременным выпуском из них воздуха. При включении дозатора в работу находящийся в нем объем реагента вытесняется давлением воды перед диафрагмой в трубопровод за диафрагмой. Дозу вытесняемого реагента регулируют вентилем по показаниям ротаметра. При изменении поступающего на станцию расхода воды меняется величина перепада давления в диафрагме и соответственно объем вытесняемого из дозаторов раствора реагента.

После сработки одного дозатора включается в работу второй, а первый опорожняется от воды и вновь заполняется реагентом.

Более совершенной является схема с установкой насосов-дозаторов. Наиболее рациональной и эффективной из конструкций следует считать поршневые насосы-дозаторы серии НД (рисунок 14).

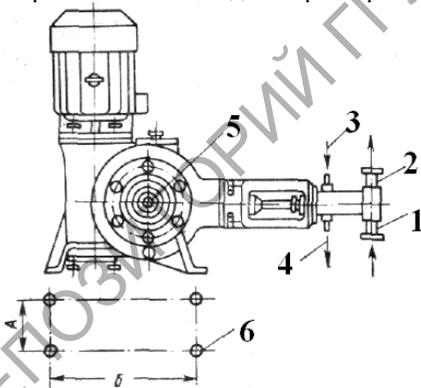


Рисунок 14 – Общий вид насоса-дозатора серии НД:

1 – всасывающий патрубок; 2 –  
 нагнетательный патрубок; 3 и 4 – подвод  
 воды к «фонарю» и отвод от него; 5 –  
 устройство для изменения длины хода  
 плунжера при выключенном  
 электродвигателе; 6 – отверстия для анкерных  
 болтов.

*Количество насосов-дозаторов принимается равным количеству установленных расходных баков, а автоматических – не менее двух.*

*Для определения расчетной производительности насосов, м<sup>3</sup>/ч,*

необходимо определить расход реагента, т/сут,

$$G_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{к}}}{10000 \cdot p_{\text{с}}}, \quad (21)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – полная производительность очистной станции, м<sup>3</sup>/сут;

$p_{\text{с}}$  – концентрация безводного продукта в коагулянте, %.

Часовой расход коагулянта, м<sup>3</sup>/ч,

$$q_{\text{к}}^{\text{час}} = \frac{G_{\text{сут}} p_{\text{с}}}{24 b p}, \quad (22)$$

где  $b$  – концентрация рабочего раствора в расходном баке, %;

$p$  – объемный вес раствора, принимаем 1 т/м<sup>3</sup>.

Габаритные размеры насоса-дозатора НД и техническая характеристика приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Основные характеристики насосов-дозаторов типа НД

Марка	Габариты, мм			Масса с электродвигателем серии РА 0...
	длина	ширина	высота	
НД 10/100	445	215	465	42
НД 16/23	450	215	465	43
НД 25/40	470	215	465	44
НД 40/25	475	215	465	45
НД 63/16	475	280	677	46
НД 100/10	475	215	465	48
НД 160/25	648	273	622	78
НД 400/16	803	280	677	110
НД 630/10	803	280	677	120
НД 1000/10	840	302	726	150
НД 1600/10	965	350	840	239
НД 2500/10	970	350	840	245

#### 6.4.5. Приготовление известкового молока

Для подщелачивания и стабилизации воды следует применять известь, при обосновании допускается применение соды.

Технологическую схему известкового хозяйства станции водоподготовки надлежит выбирать с учетом качества и вида заводского продукта, потребности в извести, места ее ввода и т. д. Комоую негашеную известь следует хранить в виде теста.

При расходе извести до 50 кг/сут по СаО допускается применение схемы с использованием известкового раствора, получаемого в сатураторах двойного насыщения. Количество баков для известкового молока или раствора должно быть не менее двух. Концентрацию известкового молока в расходных баках следует принимать не более 5 % по СаО.

Для очистки известкового молока от нерастворимых примесей при стабилизационной обработке воды применяют вертикальные отстойники или гидроциклоны. Скорость восходящего потока в вертикальных отстойниках – 2 мм/с.

Для очистки известкового молока на гидроциклонах необходимо обеспечивать двукратный его пропуск через гидроциклоны. Для непрерывного перемешивания известкового молока применяют гидравлическое перемешивание (с помощью насосов) или механические мешалки. При гидравлическом перемешивании восходящая скорость движения молока в баке должна быть не менее 5 мм/с. Баки должны иметь конические днища с наклоном 45° и сбросные трубопроводы диаметром не менее 100 мм.

Допускается для перемешивания известкового молока применять сжатый воздух при интенсивности подачи 8–10 дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>).

Диаметры трубопроводов подачи известкового молока должны быть: напорных при подаче очищенного продукта – не менее 25 мм, неочищенного – не менее 50 мм, самотечных – не менее 50 мм. Скорость движения известкового молока в трубопроводах должна приниматься не менее 0,8 м/с. Повороты на трубопроводах известкового молока следует предусматривать с радиусом не менее 5*d*, где *d* – диаметр трубопровода. Напорные трубопроводы проектируются с уклоном к насосу не менее 0,02, самотечные должны иметь уклон к выпуску не менее 0,03°. При этом следует предусматривать возможность промывки и прочистки трубопроводов.

Для гашения комовой извести и получения известкового молока применяют известегасилки. При гашении извести на 1 т комовой извести в известегасилки подается 7–10 т воды, при этом желательно подогретой до 60–70 °С. Характеристика выпускаемых известегасильных аппаратов приведена в таблице 21.

Таблица 21 – Техническая характеристика известегасилок

Показатели	Тип машины				
	С-322,	термо	ЮЗ,	барабанные	фрезерные

	лопастная	механическая непрерывного действия, барабанная	бегунковая	“Микка” периодического действия	термомеханическая непрерывного действия	АЧ-2	ФИС
Производительность известегасилки, т/ч	1	1	1,5-2	1-2	2	1,5-2	4-5
Мощность электродвигателя, кВт	4,5	2,8	6	2,8-4,5	4,5	7,8	7,8
Размеры, мм:							
длина	1900	3500	2654	5500	6100	1520	1860
ширина	1800	1800	3640	2600	1610	1018	1200
высота	1590	1600	2850	3800	2850	1792	1290
Масса, кг	1250	2000	3935	5500	3450	630	532

На установках с большим расходом извести (более 30 т/сут) для ее гашения рекомендуются барабанные шаровые мельницы, к которым должна быть подведена горячая вода. Достоинством этого метода гашения извести является отсутствие отходов, так как шаровая мельница размалывает в тонкий порошок как недожог, так и пережог, идущие при гашении извести в обычных известегасилках в отход.

Для очистки известкового молока от крупных частиц песка, недожога и т. п. до подачи в баки целесообразно пропускать его через гидроциклоны или гидравлические классификаторы – конические сосуды, диаметр которых выбирается с таким расчетом, чтобы скорость восходящего потока известкового молока в верхнем сечении конуса классификатора не превышала 5 мм/с.

Из известегасильных аппаратов известковое молоко направляется в баки с мешалками или в циркуляционные мешалки (рисунок 15), в которых частицы извести в известковом молоке поддерживаются во взвешенном состоянии восходящим потоком жидкости.

Насос для циркуляции известкового молока в гидравлической мешалке подбирается с расчетом создания скорости восходящего потока известкового молока в цилиндрической части мешалки 5–10 мм/с. Напор, развиваемый насосом, должен обеспечивать подачу известкового молока к его дозаторам.

Для установок небольшой производительности известковый раствор рекомендуется готовить в сатураторах двойного насыщения.

Известь, как правило, целесообразнее вводить в воду в виде известкового молока. При проектировании известкового хозяйства одной из основных задач является возможно полное устранение трудоемких процессов.

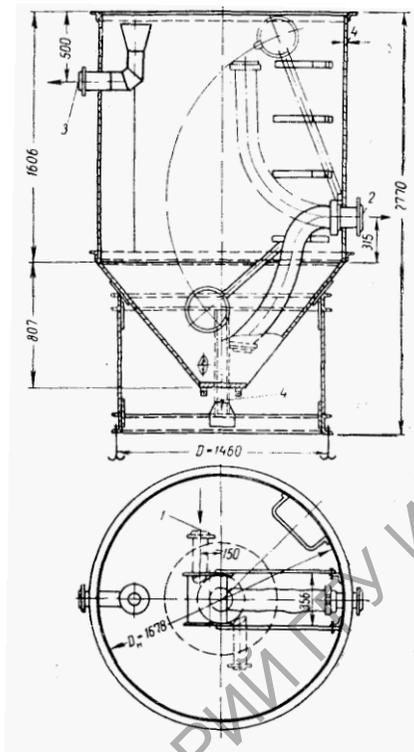


Рисунок 15 – Циркуляционная мешалка известкового молока:  
1 – подача известкового молока; 2 – отбор известкового молока; 3 – перелив; 4 – опорожнение мешалки

Для установок с известковым молоком СНиП рекомендует схему со следующим оборудованием: бункер для приема комовой извести, известогасительное устройство, классификатор, баки для известкового молока с устройством для непрерывного перемешивания и средства для транспортирования сухой извести, известкового молока или раствора.

В целях уменьшения мощности электродвигателей и экономии электроэнергии в баках с лопастными мешалками число оборотов вертикального вала принимается порядка 30–40 в 1 мин.

Расплаивание молока по крепости от центра к периферии предотвращается установкой лопастей под углом к вертикальной плоскости; обычно в баче-мешалке для известкового молока на вал монтируется несколько пар лопастей на различной высоте. Концентрация известкового молока в таких мешалках

обычно поддерживается до 5 %.

Количество баков для известкового молока следует принимать не менее двух, определяя их емкость,  $m^3$ ,

$$W_p = \frac{qnD_u}{10000 b_n \rho}, \quad (23)$$

где  $q$  – расчетный расход воды в  $m^3/ч$ ;

$n$  – время изготовления известкового молока, принимаемое равным 6–12 ч;

$D_u$  – доза извести в пересчете на  $CaO$ ,  $г/м^3$ ;

$b_n$  – концентрация известкового молока, принимаемая равной не более 5 %;

$\rho$  – плотность известкового молока, обычно принимаемая равной  $1 т/м^3$ .

Трубопроводы для транспортирования известкового молока должны быть диаметром не менее 25 мм, иметь плавные повороты и устройства для их прочистки. Скорость в трубопроводах принимается не менее 0,8 м/сек.

Количество известкового молока рекомендуется дозировать при помощи устройств, приспособленных для работы на суспензиях, для этого могут быть использованы насосы-дозаторы, весовой дозатор Хованского, бачок-дозатор с гидравлическим перемешиванием и т. п.

Проверена в практических условиях разработанная лабораторией автоматизации ВНИИ Водгео система дозирования извести по параметрам рН обработанной воды и ее расходу.

При вводе известкового раствора в фильтрованную воду или чистую подземную воду следует предусматривать его предварительное осветление в фильтре, загруженном дробленным мрамором, известняком или антрацитом.

#### 6.4.6 Приготовление раствора гексаметафосфата натрия

Раствор гексаметафосфата натрия приготавливают в баках с мешалками. Стенки баков с внутренней стороны должны иметь антикоррозийное покрытие. Расчетная концентрация раствора гексаметафосфата натрия принимается 2–3 % в пересчете на товарный продукт. Емкость баков вычисляется по формуле (12) при  $n = 12–24$  ч, число баков принимается не менее двух.

Продолжительность растворения гексаметафосфата натрия для получения 3 %-ного раствора составляет в холодной воде 4–5 ч, в воде с температурой  $50\text{ }^\circ\text{C}$  – 2 ч.

Устройства для дозирования растворов гексаметафосфата и триполифосфата натрия аналогичны устройствам для дозирования кислот (в отношении коррозии).

#### 6.4.7 Отделение соды, перманганата калия и тиосульфата натрия

Для каждого реагента устраивается самостоятельное отделение в регентном цехе. Каждое отделение состоит из склада и помещения для растворения и дозирования раствора. На складе реагент хранится в таре завода-поставщика: сода и тиосульфат натрия – в бумажных мешках; перманганат калия – в металлических ящиках или бочках. Площадь склада определяется по формуле (20), при  $P = 100$  %, значении высоты загрузки склада  $h = 1,5$ – $2$  м и плотностью  $\rho = 1,2$ – $1,5$  т/м<sup>3</sup>.

Растворы реагентов приготавливаются в мешалках или баках с перемешиванием их сжатым воздухом.

Емкость мешалки или бака определяется по формуле (12) при  $t = 6$ – $8$  ч,  $\rho = 1$  т/м<sup>3</sup> и концентрации раствора: для перманганата калия  $b_p = 5$ – $8$  %, для тиосульфата натрия  $b_p = 2$ – $5$  %. По найденной вместимости подбирают гидравлическую или лопастную мешалку. В случае применения бака размеры его в плане назначаются конструктивно. Высоту слоя раствора принимают  $1,5$ – $2$  м. Воздушную систему для растворения реагента в баке рассчитывают на интенсивность подачи воздуха  $4$ – $6$  дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>).

Воздух подается от воздуходувок для растворения коагулянта. Днищу бака придают уклон  $0,005$  к сбросному каналу. Число мешалок или баков принимают не менее двух.

Дозирование растворов осуществляется с помощью насосов-дозаторов, дозирочных бачков или автоматических дозаторов типа ДИМБА.

#### 6.4.8 Приготовление раствора полиакриламида

Полиакриламид дозируется в обрабатываемую воду в виде  $0,025$ – $0,1$  %-ного раствора. При большей концентрации ( $1$  % и выше) следует учитывать значительную вязкость раствора.

Диспергирование  $8$ – $10$ %-ного геля полиакриламида в воде для доведения его до концентрации  $0,025$ – $0,1$  % осуществляется в баке емкостью  $1200$  л с двухлопастной мешалкой, рассчитанной на растворение содержимого одной бочки в продолжение  $25$ – $40$  мин.

Продолжительность цикла приготовления раствора полиакриламида, включая операции взвешивания, загрузки, размешивания и перекачки раствора в расходный бак, равна  $2$  ч.

Производительность мешалки (типа УРП-2), разработанной АКХ, –  $6$  кг полиакриламида в пересчете по чистому продукту, или  $600$  л/ч  $1$ %-ного раствора.

Потери напора при транспортировании раствора полиакриламида с концентрацией  $0,5$ – $1$  % по трубам определяются так же, как и для воды, но с

увеличением их на 30–50 %.

Вращение вала мешалки (800–1000 об/мин) осуществляется электродвигателем мощностью 4,5 кВт.

Минимальный промежуток времени между вводом основного коагулянта и полиакриламида должен составлять от 30 до 90 с (меньшее значение принимается для теплой воды).

Раствор из технического полиакриламида приготавливают в баках с механическими лопастными мешалками. Продолжительность приготовления раствора из ПАА геля – 25–40 мин, из ПАА сухого – 2 ч. Для ускорения приготовления раствора ПАА следует использовать горячую воду с температурой не выше 50 °С.

Количество мешалок, а также объем расходных баков для растворов ПАА следует определять исходя из сроков хранения 0,7–1 % растворов не более 15 сут, 0,4–0,6 % растворов – 7 сут. и 0,1–0,3 % растворов – 2 сут.

Приготовление растворов активной кремнекислоты (АК) производится путем обработки жидкого стекла раствором или хлором. Активизацию серноокислым алюминием или хлором следует производить на установках непрерывного или периодического действия.

#### **6.4.9 Отделение активированного угля**

Отделение углевания состоит из двух изолированных помещений: склада и помещения углевальной установки.

На складе уголь хранят в таре завода-изготовителя в бумажных трехслойных мешках или фанерных барабанах. Высота слоя мешков не должна превышать 1,2–1,4 м. Барабаны складировать в 2–3 яруса.

Для обработки воды порошкообразный уголь используется в виде пульпы. Угольный порошок со склада непосредственно из мешка или барабана по гибкому пневмопроводу подается под вакуумом в заблокированный с питателем бункер и далее, по мере необходимости, – в расположенную под питателем гидравлическую (или лопастную) мешалку. Для разрежения в бункере и пневмопроводе применяется вакуум-насос ВК-3.

Порошкообразный активный уголь надлежит вводить в воду до коагулянта с интервалом времени не менее 10 мин. Дозу угля перед фильтрами следует принимать до 5 мг/дм<sup>3</sup>.

В мешалке замачивают уголь не менее 1 ч с непрерывным перемешиванием пульпы. В случае применения для замачивания и перемешивания угля лопастной мешалки дозирование может осуществляться насосом-дозатором или автоматическим дозатором. Забор пульпы насосом-дозатором производится непосредственно из лопастной мешалки. При дозировании автоматическим дозатором подача пульпы производится устанавливаемым около мешалки специальным насосом.

Площадь склада, исходя из сроков хранения угля на станции  $t = 30$  сут, может быть вычислена по формуле (20) при  $P = 100$  %, высоте загрузки склада  $h = 1,2-1,4$  м, плотность угольного порошка  $\rho = 0,2$  т/м<sup>3</sup>.

Вместимость гидравлической или лопастной мешалки определяют по формуле (12), при этом время, на которое заготавливается угольная пульпа принимают не более 4 часов, концентрация угольной пульпы  $b_p = 5-10$  %, плотность угольной пульпы  $\rho = 0,94$  т/м<sup>3</sup> при 5 % концентрации. По найденной вместимости выбирают типовую мешалку. Число мешалок должно быть не менее двух.

В качестве питателя угольного порошка может быть принят питатель маятниковый, макри 55 с высотой 720 мм и длиной 1370 мм.

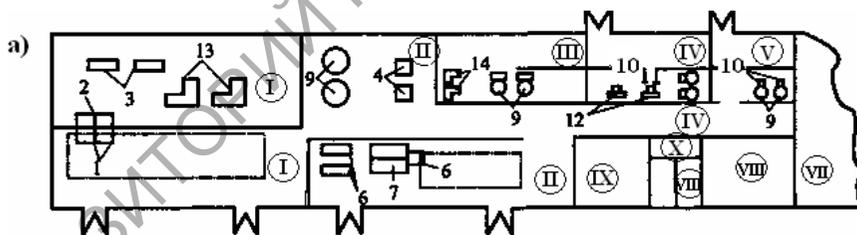
Дозировочное устройство и автоматический дозатор подбирают по расходу.

#### 6.4.10 Примеры компоновки реагентного цеха

Для станций малой и средней производительности реагентный цех целесообразно объединять в общем здании с сооружениями очистки. Для станций большой производительности (свыше 50000 м<sup>3</sup>/сут) реагентное хозяйство устраивают в отдельном здании.

Проектировать реагентный цех следует из унифицированных сборных железобетонных элементов, предусматривая максимально возможную механизацию всех работ.

На рисунке 16 приведены некоторые варианты компоновки реагентного цеха при различных способах хранения реагентов.



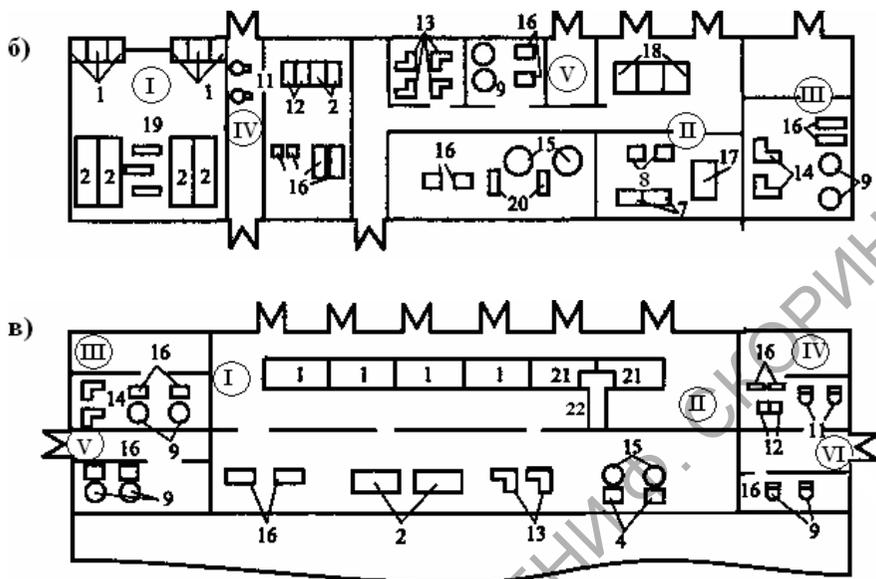


Рисунок 16 – Схемы реагентного цеха со складом сухого хранения коагулянта и извести (а), со складом мокрого хранения коагулянта и извести (б), со складом сухо-мокрого хранения коагулянта и с использованием привозного известкового теста (в): I – отделение коагулянта; II – то же извести; III – то же угля; IV – то же полиакриламида; V – то же фтора; VI – то же перманганата калия; VII – служебные помещения и зал основных сооружений; VIII – хлораторная; IX – аммонизаторная; X – вентиляционная камера; 1 – растворные баки; 2 – расходные баки; 3 – насосы для перекачки коагулянта в дозатор; 4 – то же известкового молока; 5 – то же угольной пульпы; 6 – известегасилка; 7 – баки крепкого известкового молока; 8 – насосы для перекачки известкового молока в мешалки; 9 – лопастные мешалки; 10 – дозировочные бачки; 11 – установка для растворения полиакриламида; 12 – расходные баки раствора полиакриламида; 13 – воздуходувки; 14 – вакуум-насосы; 15 – гидравлические мешалки; 16 – насосы-дозаторы; 17 – шаровая мельница; 18 – бак для приготовления известкового теста; 19 – насосы для перекачки раствора коагулянта из растворных баков в баки-хранилища и из последних – в расходные баки; 20 – циркуляционные насосы; 21 – бак привозного известкового теста; 22 – лоток для подачи разбавленного водой теста из бака в мешалку

### 6.5 Смесители

В комплексе очистных сооружений водопроводов одно из важных мест занимают смесительные устройства. Они служат для быстрого и равномерного распределения реагентов во всем объеме обрабатываемой воды для обеспечения наиболее полного его использования и ускорения химических реакций.

Можно вводить реагент и в напорный трубопровод насосов I подъема. При использовании в качестве смесителя напорного трубопровода ввод

реагента в него должен быть предусмотрен на расстоянии не менее 50 диаметров от конца трубопровода. При этом скорость течения воды в трубопроводе должна быть не менее 1–1,5 м/с, что создает турбулентность потока, обеспечивающую полное смешение раствора реагента с водой.

По принципу действия различают смесители гидравлического и механического типов.

Наиболее широко применяется *гидравлический* тип смесителей. В смесителях гидравлического типа перемешивание раствора реагента с обрабатываемой водой достигается за счет турбулизации потока. Существует несколько видов конструкций смесителей гидравлического типа: перегородчатый, дырчатый, вихревой, коридорный, диафрагмовый, статический.

К *механическим* смесителям относятся устройства, в которых турбулизация потока достигается вращением лопастей или пропеллеров мешалок электродвигателем. Механические смесители применяются, когда по высотным условиям расположения сооружений нельзя обеспечить перепад уровней воды. Механическое перемешивающее устройство (мешалка) состоит из трех основных частей: собственно мешалки, вала и привода. Мешалка является рабочим элементом устройства, закрепляемым на вертикальном, горизонтальном или наклонном валах. Привод может быть осуществлен либо непосредственно от электродвигателя (для быстроходных мешалок), либо через редуктор или клиноременную передачу.

По устройству лопастей различают мешалки лопастные, пропеллерные, турбинные и специальные.

#### **6.5.1 Расчет смесителя вертикального (вихревого) типа**

Для водоочистных комплексов с осветлителями рекомендуются вертикальные (вихревые) смесители в виде цилиндрического (или квадратного в плане) резервуара с конической (или пирамидальной) нижней частью при угле наклона 30–45°. Вниз конуса (или пирамиды) подводят обрабатываемую воду со скоростью 1,2–1,5 м/с и туда же, только с противоположной стороны, через специальные патрубки вводят растворы реагентов.

Вертикальный (вихревой) смеситель приведен на рисунке 17.

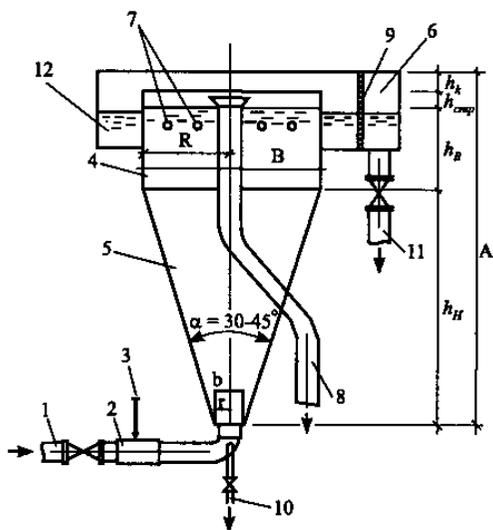
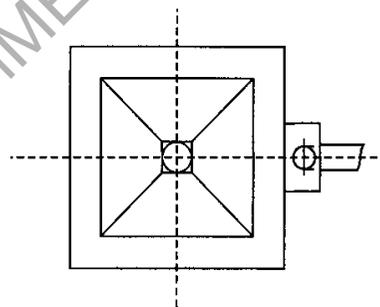


Рисунок 17 – Вертикальный (вихревой) смеситель:

1 – трубопровод подачи воды на смеситель; 2 – устройство ввода реагента; 3 – трубопровод ввода реагента; 4 – цилиндрическая или квадратная часть смесителя; 5 – конусная или пирамидальная часть смесителя; 6 – сборный карман; 7 – затопленные отверстия; 8 – переливной трубопровод; 9 – сетка; 10 – трубопровод опорожнения; 11 – трубопровод отвода воды; 12 – сборный лоток

Рисунок 18 – Система сбора и отвода воды вихревого смесителя



Допускаемая гидравлическая нагрузка на сооружение не должна превышать  $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Время пребывания воды в смесителе должно быть не более 1,5–2 мин.

Центральный угол  $\alpha$  между наклонными стенками должен составлять  $30\text{--}45^\circ$ .

Перемешивание воды в смесителе происходит за счет изменения скорости восходящего потока воды при переходе от узкой (нижней) к широкой (верхней) части смесителя. Высота верхней части смесителя с вертикальными стенками  $h_B$  должна составлять 1–1,5 м. Скорость восходящего движения воды под водосборным устройством должна быть 30–40 мм/с, благодаря чему частицы реагента находятся во взвешенном состоянии. Отвод воды из смесителя производят периферийным лотком со

скоростью 0,6 м/с, дырчатыми трубами или затопленной воронкой.

Расчет смесителя сводится к определению геометрических размеров устройства, а также диаметров подводящего и отводного трубопроводов, сборных лотков, сборного кармана и ведется в такой последовательности.

Определяют число смесителей

$$n = \frac{Q_{\text{час}}}{q_{\text{см}}}, \quad (24)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – расчетный часовой расход воды станции, м<sup>3</sup>;

Пересчитывают расход на один смеситель, м<sup>3</sup>/ч,

$$q_{\text{см}} = \frac{Q_{\text{час}}}{n}. \quad (25)$$

Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м<sup>2</sup>,

$$f_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{час}}}{v_{\text{в}}}, \quad (26)$$

где  $v_{\text{в}}$  – скорость восходящего движения воды, равная 90–100 м/ч, или 25–28 мм/с.

Если принять верхнюю часть смесителя квадратной в плане, то сторона ее будет иметь размер  $b_{\text{в}} = \sqrt{f_{\text{в}}}$ .

Трубопровод подающий обрабатываемую воду в нижнюю часть со входной скоростью  $v_{\text{н}} = 1–1,2$  м/с, имеет внутренний диаметр  $D$ , мм. Тогда при расходе воды  $q_{\text{сек}}$ , дм<sup>3</sup>/с, входная скорость при этом составит  $v_{\text{н}}$ , м/с.

Так как диаметр подводящего трубопровода будет равен  $D$ , то размер в плане нижней части смесителя в месте примыкания этого трубопровода должен быть  $D \times D$ , м, а площадь нижней части усеченной пирамиды составит  $f_{\text{н}} = D^2$ , м<sup>2</sup>.

Тогда высота нижней (пирамидальной) части смесителя, м,

$$h_{\text{н}} = 0,5(b_{\text{в}} - b_{\text{н}}) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (27)$$

Объем пирамидальной части смесителя, м<sup>3</sup>,

$$W_H = \frac{1}{3} h_H (f_B + f_H + \sqrt{f_H f_B}), \quad (28)$$

Полный объем смесителя, м<sup>3</sup>,

$$W = \frac{Q_{\text{час}} t}{60}, \quad (29)$$

где  $t$  – продолжительность смешения реагента с массой воды, равная 1,5–2 мин.

Объем верхней части смесителя, м<sup>3</sup>,

$$W_B = W - W_H. \quad (30)$$

Высота верхней части смесителя м,

$$h_B = \frac{W_B}{f_B}. \quad (31)$$

Если рассчитанная высота  $h_B$  не вкладывается в пределы от 1,0 до 1,5 м, то расчет выполняют снова. Изменяя значения центрального угла  $\alpha$  между наклонными стенками в пределах от 30 до 45° и время пребывания воды в смесителе от 1,5 до 2 мин, необходимо добиться значения  $h_B$  в заданных пределах.

Полная высота смесителя, м,

$$h_c = h_n + h_B + h_{\text{стр}} + h_k, \quad (32)$$

где  $h_{\text{стр}}$  – высота строительного борта, принимаемая равной 0,3–0,5 м;

$h_k$  – конструктивный размер, принимается равным 0,3–0,5 м.

Сбор воды производится в верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия. Скорость движения воды в лотке  $v_{\text{л}} = 0,6$  м/с.

Вода, протекающая по лоткам в направлении бокового кармана, разделяется на два параллельных потока. Поэтому расчетный расход каждого потока, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{час}}}{2}. \quad (33)$$

Площадь живого сечения сборного лотка

$$\omega_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{л}}}{v_{\text{л}} \cdot 3600} . \quad (34)$$

Ширина лотка должна составлять  $b_{\text{л}} = 0,2-0,8$  м.

Расчетная высота слоя в лотке при принятых размерах, м,

$$h_{\text{л}} = \frac{\omega_{\text{л}}}{b_{\text{л}}} . \quad (35)$$

Уклон дна лотка принимают  $i = 0,02$ .

Площадь всех затопленных отверстий в стенках сборного лотка,  $\text{м}^2$ , находят по формуле

$$F_{\text{о}} = \frac{q_{\text{см}}}{v_{\text{о}} \cdot 3600} , \quad (36)$$

где  $v_{\text{о}}$  – скорость движения воды через отверстия лотка,  $v_{\text{о}} = 1$  м/с.

Отверстия приняты диаметром  $d_{\text{о}} = 80$  мм.

Площадь одного отверстия,  $\text{м}^2$ ,

$$f_{\text{о}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{о}}^2}{4} . \quad (37)$$

Общее потребное количество отверстий, шт.,

$$n = \frac{F_{\text{о}}}{f_{\text{о}}} . \quad (38)$$

Эти отверстия размещаются по боковой поверхности лотка на глубине  $h_{\text{о}} = 110$  мм от верхней кромки лотка до оси отверстий.

Внутренний периметр лотка, м, находят по формуле

$$p_{\text{л}} = 4(b_{\text{в}} - 2(b_{\text{л}} + 0,06)) . \quad (39)$$

Шаг оси отверстий, м,

$$e_{\text{о}} = \frac{p_{\text{л}}}{n} . \quad (40)$$

Далее находят расстояние между отверстиями, мм,

$$l_0 = e_0 - d_0. \quad (41)$$

Из сборного лотка вода поступает в боковой карман. Размеры кармана принимают конструктивно с тем, чтобы в нижней его части разместить трубу для отвода воды прошедшей смеситель (см. рисунок 18).

Расход воды, протекающей по отводящей трубе для подачи в камеру хлопьеобразования от одного смесителя равен  $q_{см}$ ,  $дм^3/с$ . Скорость в этом трубопроводе должна быть 0,8–1 м/с, а время пребывания – не более 2 мин.

Подбирают диаметр отводной трубы  $d$ , мм, при скорости движения в ней воды 0,85 м/с.

### 6.5.2 Расчет дырчатого смесителя

Дырчатый смеситель представляет собой железобетонный лоток, обычно с тремя вертикальными перегородками, установленными перпендикулярно движению воды и снабженными отверстиями, расположенными в несколько рядов (рисунок 19).

Применяют дырчатые смесители на станциях водоподготовки производительностью до 20–24 тыс.  $м^3/сут$ . Вытекающие из отверстий струи воды создают большое число мелких завихрений в лотке смесителя, что способствует эффективному смешению вводимых реагентов с обрабатываемой водой. С целью исключения насыщения воды пузырьками воздуха предусматривают затопление верхних рядов отверстий в перегородках на глубину 0,1–0,15 м. Скорость движения воды в отверстиях перегородок принимают равной 1 м/с. Расчет дырчатых смесителей проводят в следующем порядке.

Число вертикальных дырчатых перегородок принимают не более трех.

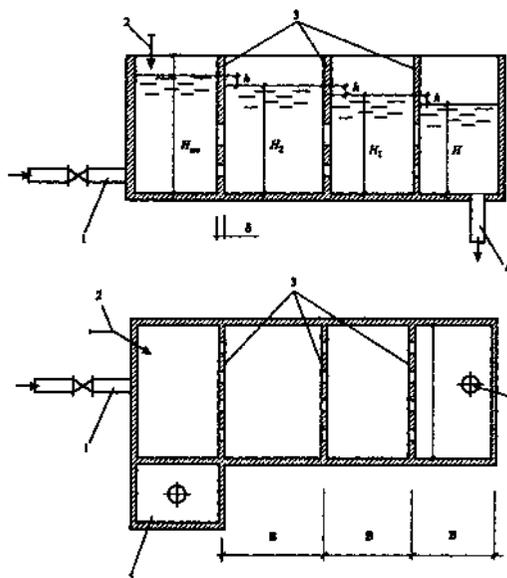


Рисунок 19 – Дырчатый смеситель:

- 1 – трубопровод подачи воды на смеситель;
- 2 – трубопровод ввода хлора;
- 3 – дырчатые перегородки;
- 4 – трубопровод отвода воды;
- 5 – переливной

### 6.5.3 Перегородчатый смеситель

Перегородчатый смеситель представляет собой железобетонный лоток с тремя перегородками, имеющими отверстия для прохода воды. В первой и третьей перегородках проходы располагаются в центре, а в средней – два боковых прохода у стенок лотка (рисунок 20).

Прохождение потока воды через такие проходы в перегородках вызывает изменение направления его движения в пределах лотка, а повышенные скорости движения воды в проходах создают завихрения, способствующие равномерному и полному смешению вводимого реагента с обрабатываемой водой.

Верхняя кромка проходов должна быть затопленной на глубину  $h_3 = 0,1-0,15$  м в целях предотвращения засасывания воздуха.

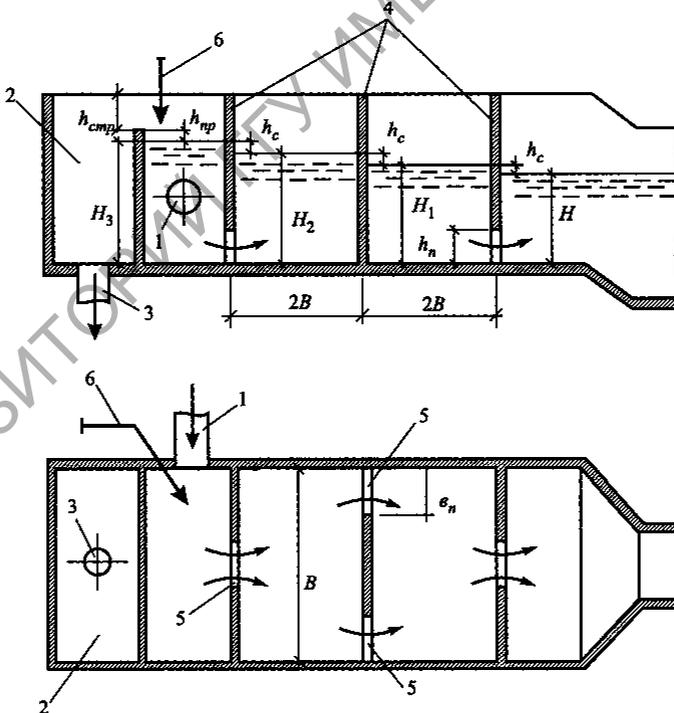


Рисунок 20 – Перегородчатый смеситель:

- 1 – трубопровод подачи воды на смеситель; 2 – переливная камера; 3 – переливной трубопровод;  
4 – перегородки; 5 – проходы для воды в перегородках; 6 – трубопровод ввода реагента

#### 6.5.4 Механический смеситель пропеллерного типа

Принцип действия механического смесителя пропеллерного типа (рисунок 21) основан на поступательно-вращательном движении воды, сообщаемой ей пропеллером винтового типа.

Расчет механического смесителя сводится к определению объема камеры, мощности и диаметра мешалки.

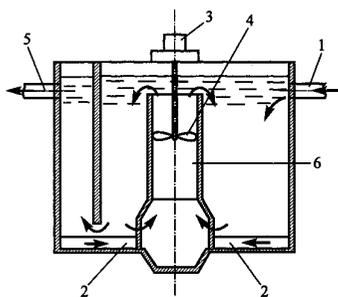


Рисунок 20 – Механический смеситель пропеллерного типа:

- 1 – трубопровод подачи воды на смеситель; 2 – трубопровод ввода реагентов; 3 – электродвигатель;  
4 – лопастной винт; 5 – трубопровод отвода воды со смесителя; 6 – смесительная камера

### 6.5.5 Шайбовые смесители

Шайбовый смеситель (рисунок 22) служит для смешения реагентов непосредственно в напорном трубопроводе. Применение шайбового смесителя не лимитируется производительностью станции. При подаче реагентов непосредственно в напорный водовод необходимо, чтобы приемная воронка в месте ввода раствора реагентов располагалась выше линии пьезометрического давления воды в трубе. Между местом ввода и окончанием трубы не должно быть задвижек. Отбор рабочих растворов в случае применения насосов-дозаторов следует производить из верхних слоев расходных баков через поплавковое устройство. Длина участка, на котором происходит смешение, должна быть не меньше величины равной 50 диаметров трубопровода.

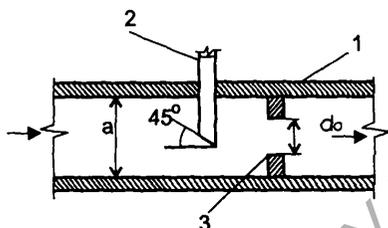


Рисунок 22 – Шайбовый смеситель:  
1 – трубопровод; 2 – трубка для ввода реагентов; 3 – шайба

Для лучшего смешения раствора реагентов с обрабатываемой водой и сокращением длины участка рекомендуется устраивать сужения в напорном водоводе в виде трубы Вентури или диафрагмы (шайбы). Эти сужения позволяют несколько снизить пьезометрическое давление в месте ввода раствора реагентов в трубопровод и, следовательно, уменьшить высоту расположения дозатора. Такие дроссельные устройства обуславливают появление вихревых потоков в обрабатываемой воде, что благоприятствует смешению ее с реагентами. Для обеспечения достаточно надежного смешения воды с реагентами соотношение диаметров проходного отверстия диафрагмы и трубопровода должно приниматься таким, чтобы потеря напора в диафрагме была в пределах 0,2–0,3 м. Отдозированный реагент вводится в трубопровод перед диафрагмой. Трубка, подводящая раствор реагента в напорный трубопровод, должна доходить до его середины, а ее конец должен быть срезан под углом 45°. Трубку изготавливают из пластмассы или стекла и укрепляют в напорном трубопроводе при помощи сальника.

*Расчет шайбового смесителя.* Принимают диаметр водовода  $D$  по скорости движения воды  $v_1 = 1–1,2$  м/с (рисунок 23).

Вблизи выпускного конца водовода устанавливают суженный участок трубы диаметром  $d < D$ , при этом скорость движения воды в трубе  $v_2 \leq 3$  м/с.

Определяют площади сечений  $f_1$  и  $f_2$ , отношение площадей сечений  $m_1 = f_1/f_2$  и коэффициент расхода  $\mu$ .

Разность отметок уровней воды в пьезометрах, м,

$$h = \left( \frac{q_{\text{сек}} \sqrt{m_1^2 - 1}}{\mu f_1 \sqrt{2g}} \right)^2, \quad (42)$$

где  $q_{\text{сек}}$  – расчетный расход воды, приходящийся на одну нитку водовода, м<sup>3</sup>/с.

Потери напора в сужении трубопровода, м,

$$h_c = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}. \quad (43)$$

Величина  $h_c$  должна находиться в пределах от 0,3 до 0,4 м.

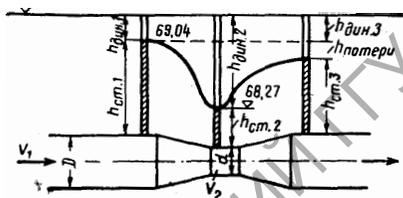


Рисунок 23 – Схема сужения трубопровода для ввода раствора реагента

## 6.6 Камеры хлопьеобразования

Они предназначены для создания оптимальных условий образования достаточно крупных хлопьев взвеси, получающихся в процессе гидролиза коагулянтов.

Процесс хлопьеобразования хорошо протекает при плавном перемешивании воды. Скорость ее движения в камерах должна быть, с одной стороны, достаточной, чтобы не выпадали в осадок образовавшиеся хлопья, а с другой - не настолько большой, чтобы вызвать разрушение этих хлопьев.

Для интенсивного осветления и обесцвечивания воды обычно стремятся получить легко оседающие крупные хлопья с сильно развитой поверхностью при минимальном времени их формирования. Механизм процесса хлопьеобразования определяется вероятностью столкновения коллоидных частиц, что зависит от их концентрации, подвижности и упорядоченности

движения.

На размеры образующихся хлопьев, в процессе медленного перемешивания обрабатываемой воды, влияют: интенсивность и продолжительность перемешивания; солевой состав воды и ее температура; природа примесей (коллоидные или диспергированные); силы адгезии, удерживающие частицы примесей связанными между собой. Так, возрастание концентрации гидрокарбонатов и хлоридов повышает прочность формирующихся хлопьев и, наоборот, увеличение содержания сульфатов понижает ее. При применении горизонтальных отстойников в схемах с реагентной обработкой воды рекомендуется устройство камер хлопьеобразования гидравлического типа. Для осветления высокомутных вод допускается применение камер хлопьеобразования механического типа.

В горизонтальных отстойниках гидравлические камеры хлопьеобразования следует предусматривать со слоем взвешенного осадка, вихревые и перегородчатые.

С вертикальными отстойниками конструктивно объединяют водоворотные камеры хлопьеобразования. Перед радиальными отстойниками камеры не устраивают.

При количестве встроенных в отстойники камер хлопьеобразования менее шести следует предусматривать одну резервную.

#### **6.6.1 Камера хлопьеобразования со взвешенным осадком (зашлампленного типа)**

В практике очистки воды средней мутности и мутных вод значительное распространение получили встроенные камеры хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка (рисунок 24). Их устраивают непосредственно в передней части горизонтальных отстойников. Камеры представляют собой прямоугольные железобетонные резервуары с вертикальными поперечными перегородками и пирамидально-гребенчатым дном.

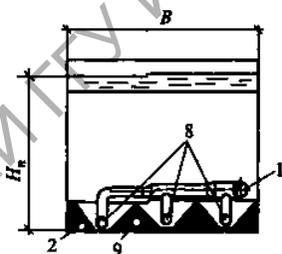
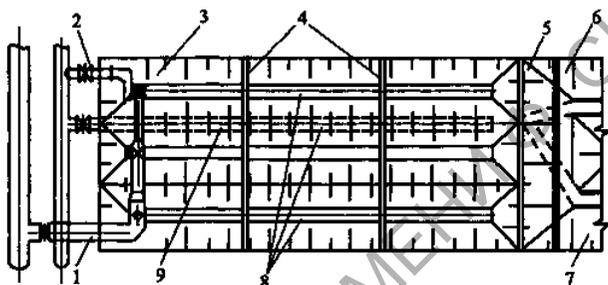
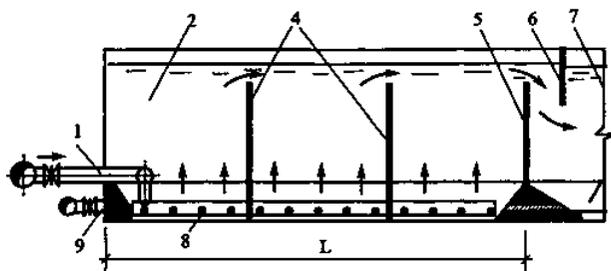


Рисунок 24 – Встроенная камера хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка:

1 – подача воды; 2 – трубопровод опорожнения; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – поперечные перегородки; 5 – водослив; 6 – полупогружная перегородка; 7 – горизонтальный отстойник; 8 – водораспределительные трубы; 9 – сброс осадка из отстойника

Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования со взвешенным осадком предусматривают с помощью напорных перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз под углом  $45^\circ$ . Расстояние между перфорированными трубами рекомендуется принимать 2 м, от стенки каме-ры – 1 м.

Скорость движения воды в начале распределительных труб принимают

0,5–0,6 м/с, площадь отверстий – 30–40% площади сечения распределительной трубы, диаметр отверстий – не менее 25 мм. Скорость восходящего потока воды следует принимать 0,65–1,6 мм/с при осветлении вод средней мутности и 0,8–2,2 мм/с – при осветлении мутных вод. При данных скоростях образуется и поддерживается во взвешенном состоянии слой осадка высотой не менее 2 м, частицы которого являются центрами коагуляции. Время пребывания воды в камере хлопьеобразования составляет, как правило, 20–50 мин.

Отвод воды из камер хлопьеобразования в отстойники осуществляется через водослив при скорости движения воды не более 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с – для цветных вод. На входе воды в отстойник следует устанавливать подвесную перегородку, погруженную на 1/4 высоты отстойника. Скорость движения воды между стенкой и перегородкой – не более 0,03 м/с.

Расчет камер хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка, встроенных в горизонтальные отстойники, рекомендуется вести в такой последовательности.

Определяют площадь в плане всех камер хлопьеобразования, м<sup>2</sup>,

$$\sum F_k = \frac{Q_{\text{час}}}{3600 v}, \quad (44)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

$v$  – скорость восходящего потока воды в верхнем сечении встроенной камеры хлопьеобразования, м/с.

Ширина камер и их количество должны быть увязаны с размерами и количеством отстойников.

Площадь одной камеры, м<sup>2</sup>,

$$F_1 = \frac{\sum F_k}{N_p}, \quad (45)$$

где  $N_p$  – число рабочих камер, шт.

Находят длину камеры, м,

$$l_k = \frac{F_1}{B_k}, \quad (46)$$

где  $B_k$  – ширина камеры, м (принимается равной ширине отстойника).

Рабочую высоту камеры, м, принимают равной глубине отстойника, с учетом превышения уровня воды в камере хлопьеобразования

$$H_k = H_p + h, \quad (47)$$

где  $H$  – средняя глубина отстойника, м;

$h$  – превышение уровня воды в камере ( $h \leq 0,5$  м).

Полная высота камеры хлопьеобразования принимается равной высоте отстойника.

Время пребывания воды в камере, мин, в среднем составит

$$t = \frac{H_k}{60v}. \quad (48)$$

Рассчитывают расход воды, приходящийся на каждую камеру,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ,

$$q_k = \frac{Q_{\text{час}}}{3,6N_p}. \quad (49)$$

Днище конструктивно выполняется пирамидально-гребенчатым. Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования предусматривается с помощью перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз под углом  $45^\circ$ . Расстояние между трубами рекомендуется 2 м, от стен камер – 1 м. Диаметр труб подбирается с учетом скорости в них  $0,5 - 0,6$  м/с.

Вычисляют расход воды, приходящийся на одну трубу,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ,

$$q_{\text{тр}} = \frac{q_k}{n}, \quad (50)$$

где  $n$  – число труб, шт.

Площадь отверстий в стенках трубы,  $\text{м}^2$ , принимается равной 30–40 % площади ее поперечного сечения:

$$\sum f_o = (0,3 - 0,4) \frac{\pi D^2}{4}, \quad (51)$$

где  $D$  – диаметр трубы, м.

При принятом диаметре отверстий ( $d_o$  не менее 25 мм и площади  $f_o$ ,  $\text{м}^2$ ) необходимое количество отверстий в каждой трубе, шт.,

$$n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}. \quad (52)$$

Дно камер хлопьеобразования у торцевых стенок выполняется с откосами. Шаг оси отверстий, м,

$$l_o = \frac{2l_k}{n_o}. \quad (53)$$

Отвод воды из камеры хлопьеобразования в отстойник предусматривается через затопленный водослив (рисунок 25).

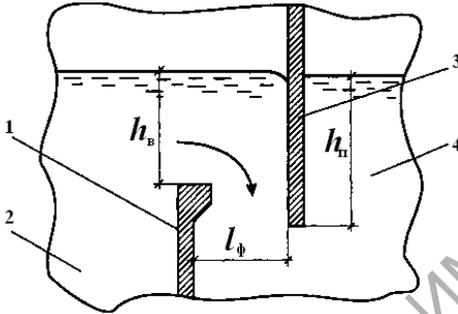


Рисунок 25 – Затопленный водослив:

1 – водослив; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – полупогружная перегородка; 4 – горизонтальный отстойник

Верх стенки водослива располагается ниже уровня воды в камере на величину, м,

$$h_b = \frac{q_k}{v_b B}, \quad (54)$$

где  $v_b$  – скорость движения воды через водослив, м/с.

За стенкой водослива проектируется подвесная перегородка, отклоняющая поток воды книзу. Она погружается на 1/4 высоты отстойника, м:

$$h_{п} = \frac{H_p}{4}. \quad (55)$$

Минимальное расстояние между водосливом и перегородкой, м, при наибольшей скорости движения воды между ними

$$l_{\text{п}} = \frac{q_{\text{к}}}{v_{\text{п}} B}, \quad (56)$$

где  $v_{\text{п}}$  – скорость движения воды между стенкой и перегородкой, м/с.

Принимается расстояние между водосливом и перегородкой  $l_{\text{ф}}$ , при котором определяется фактическая скорость, м/с,

$$v_{\text{ф}} = \frac{q_{\text{к}}}{Bl_{\text{ф}}}. \quad (57)$$

Для улучшения гидравлического режима восходящего потока предусматриваются две поперечные перегородки, рассекающие камеру на равные отделения. Для опорожнения камеры принимается сточный трубопровод.

Непосредственный контроль и наблюдение за процессом формирования хлопьев ведутся из смотрового павильона.

#### **6.6.2 Вихревая камера хлопьеобразования**

Эти камеры выполняются в виде железобетонных резервуаров пирамидального сечения. Принцип работы камеры состоит в перемешивании воды при ее движении снизу вверх за счет значительного уменьшения скорости движения, вызванного резким увеличением площади поперечного сечения. Основным преимуществом такой камеры является то, что при наличии вихревого движения воды в ней процесс хлопьеобразования заканчивается в 2–4 раза быстрее, чем в камерах другого типа, что позволяет соответственно уменьшить объем камеры (рисунок 26).

Вихревые камеры хлопьеобразования проектируются с вертикальными наклонными стенками (угол между стенками следует принимать в зависимости от высоты камеры в пределах 50–70°). Время пребывания воды в камере принимают 6–12 мин (нижний предел – для мутных вод, верхний – для цветных).

Рекомендуемая скорость входа воды в камеры – 0,7–1,2 м/с, скорость восходящего потока на выходе – 4–5 мм/с.

Отвод воды из камер хлопьеобразования в отстойники должен осуществляться таким образом, чтобы не происходило разрушения сформировавшихся хлопьев. Скорость движения воды в сборных лотках, трубах, отверстиях и над водосливами не должна превышать 0,1 м/с для мутных вод и 0,05 м/с – для цветных.

Расчет камер хлопьеобразования вихревого типа, встроенных в горизонтальные отстойники, можно вести в следующей последовательности.

Находят общий объем камер, м<sup>3</sup>,

$$W = \frac{Q_{\text{час}} t}{60}, \quad (58)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

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

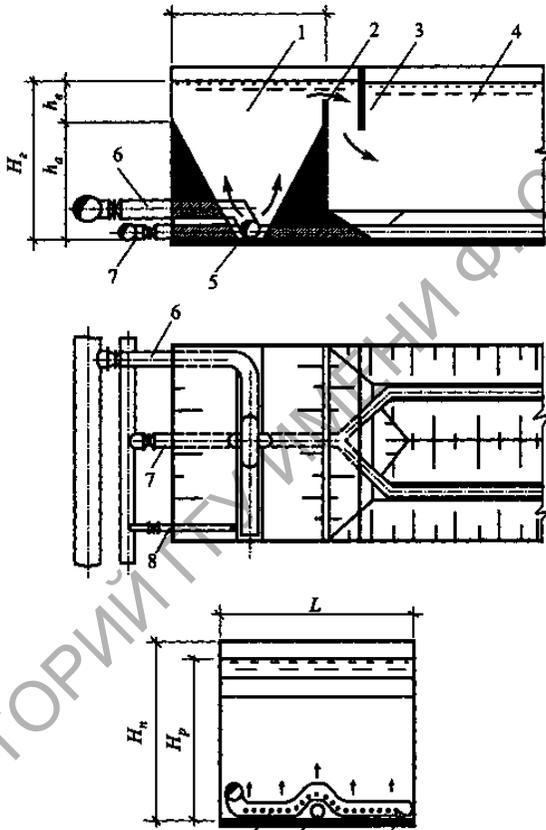


Рисунок 26 – Вихревая камера хлопьеобразования:

- 1 – камера хлопьеобразования; 2 – водослив; 3 – полупогружная перегородка; 4 – горизонтальный отстойник; 5 – распределительный трубопровод; 6 – подача воды в камеру; 7 – удаление осадка из отстойника; 8 – опорожнение камеры

Количество рабочих камер принимается равным числу горизонтальных

отстойников. Длина камер и их количество увязываются с размерами и количеством отстойников.

Определяют суммарную площадь камер хлопьеобразования в верхнем сечении, м<sup>2</sup>,

$$\sum F_k = \frac{Q_{\text{час}}}{3600 v}, \quad (59)$$

где  $v$  – скорость восходящего потока на выходе из камеры, м/с.

Площадь одной камеры, м<sup>2</sup>,

$$F_1 = \frac{\sum F_k}{N_p}, \quad (60)$$

где  $N_p$  – число рабочих камер, шт.

При длине стороны камеры, равной ширине отстойника, ширина камеры хлопьеобразования в верхнем сечении, м,

$$B = \frac{F_1}{L}, \quad (61)$$

где  $L$  – длина стороны камеры в чистоте, м.

Рассчитывают нагрузку по воде на одну камеру, дм<sup>3</sup>/с,

$$q_k = \frac{Q_{\text{час}}}{3,6 N_p}. \quad (62)$$

Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования осуществляется дырчатым трубопроводом с отверстиями, направленными вниз под углом 45°.

Вычисляют суммарную площадь отверстий в одной камере, м<sup>2</sup>,

$$\sum f_o = \frac{q_k}{v_o}, \quad (63)$$

где  $v_o$  – скорость выхода воды из отверстий, м/с.

При принятом диаметре отверстий ( $d_o$  не менее 25 мм и площади  $f_o$ , м<sup>2</sup>) необходимое количество отверстий в трубопроводе, шт.,

$$n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}. \quad (64)$$

Отверстия располагаются в шахматном порядке, расстояние между осями которых, м,

$$l_o = \frac{2l_k}{n_o}. \quad (65)$$

Камеры хлопьеобразования принимаются комбинированного типа с вертикальными и наклонными стенками по продольной оси. Высота конической части, м,

$$h_k = \frac{B-b}{2tg \frac{\alpha}{2}}, \quad (66)$$

где  $B$  – ширина камеры хлопьеобразования в верхнем сечении, м;

$b$  – ширина камеры по дну, м;

$\alpha$  – угол между наклонными стенками, град.

Находят объем конической части камеры, м<sup>3</sup>,

$$W_k = \frac{(B+b)h_k}{2} L. \quad (67)$$

Рабочий объем одной камеры хлопьеобразования, м<sup>3</sup>,

$$W_1 = \frac{W}{N_p}. \quad (68)$$

Объем верхней части камеры с вертикальными стенками, м<sup>3</sup>,

$$W_B = W_1 - W_k. \quad (69)$$

Определяют высоту вертикальной стенки, м:

$$h_B = \frac{W_B}{BL}. \quad (70)$$

Вычисляют рабочую глубину камеры хлопьеобразования, м,

$$H_p = h_k + h_b. \quad (71)$$

С учетом строительного борта глубина камеры, м,

$$H_{\text{п}} = H_p + h_{\text{стр}}. \quad (72)$$

Отвод воды из камеры хлопьеобразования в отстойник предусматривается через затопленный водослив. Верх стенки водослива располагается ниже уровня воды в камере на величину, м,

$$h_b = \frac{q_k}{v_b B}, \quad (73)$$

где  $v_b$  – скорость движения воды через водослив, м/с.

За стенкой водослива проектируется подвесная перегородка, отклоняющая поток воды книзу. Она погружается на 1/4 высоты отстойника, м,

$$h_{\text{п}} = \frac{H_p}{4}. \quad (74)$$

Определяют минимальное расстояние между водосливом и перегородкой при наибольшей скорости движения воды между ними, м:

$$l_{\text{п}} = \frac{q_k}{v_{\text{п}} B}, \quad (75)$$

где  $v_{\text{п}}$  – скорость движения воды между стенкой и перегородкой, м/с.

Принимается расстояние между водосливом и перегородкой  $l_{\phi}$ , при котором определяется фактическая скорость, м/с,

$$v_{\phi} = \frac{q_k}{Bl_{\phi}}. \quad (76)$$

Для улучшения гидравлического режима восходящего потока предусматриваются две поперечные перегородки, рассекающие камеру на равные отделения. Для опорожнения камеры принимается сточный

трубопровод.

Непосредственный контроль и наблюдение за процессом формирования хлопьев ведутся из смотрового павильона. В каждой камере предусматривается трубопровод опорожнения.

### 6.6.3 Водоворотная камера хлопьеобразования

Камера располагается внутри корпуса вертикального отстойника и выполняется в виде стакана (рисунок 27). Вода подается в верхнюю часть камеры соплом. Выходя из сопла со скоростью 2–3 м/с, вода приобретает вращательное движение вдоль стенок камеры и движется в направлении сверху вниз. Для гашения вращательного движения воды при ее выходе в отстойник внизу камеры устраивают гаситель в виде крестообразной перегородки. Время пребывания воды в камере должно составлять от 15 до 20 мин. Высота камеры – 3,5–4,0 м.

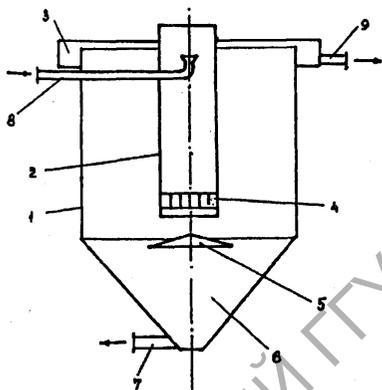


Рисунок 27 – Водоворотная камера хлопьеобразования, встроенная в вертикальный отстойник:

1 – корпус отстойника; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – кольцевой водосборный лоток; 4 – гаситель; 5 – конус-отражатель; 6 – зона накопления осадка; 7 – сброс осадка; 8 – подвод осветляемой воды; 9 – овод осветленной воды

### 6.6.4 Перегородчатая камера хлопьеобразования

Перегородчатая камера хлопьеобразования (рисунок 28), применяемая с горизонтальными отстойниками, представляет собой прямоугольный железобетонный резервуар с перегородками, образующими 9–11 коридоров шириной не менее 0,7 м. Вода в камере медленно перемешивается путем многократного изменения направления движения в горизонтальной или вертикальной плоскости с уменьшающейся скоростью. Скорость движения воды в коридорах принимают 0,2–0,3 м/с в начале и 0,05–0,1 м/с в конце камеры за счет увеличения ширины коридора. Подключая к работе то или иное число коридоров, можно регулировать продолжительность пребывания обрабатываемой воды в камере в зависимости от ее качества в данный период. Время пребывания воды в камере хлопьеобразования определяют по

данным технологического анализа или из опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях; ориентировочно рекомендуется принимать 20–30 мин (минимальное время – для мутных вод, максимальное – для цветных с низкой температурой зимой).

Допускается применение двухэтажных камер. При выполнении расчетной части следует учитывать примыкание камеры к торцевой части горизонтальных отстойников, поэтому ее длину рекомендуется принимать равной общей строительной ширине отстойников (или отдельной секции).

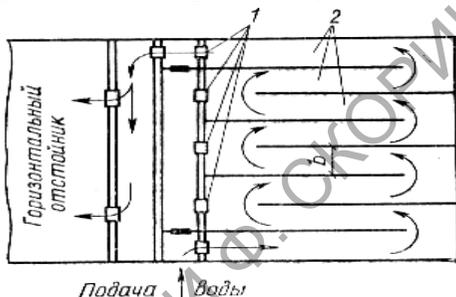


Рисунок 28 – Перегородчатая камера хлопьеобразования:

1 – окна; 2 – ряд коридоров

### 6.6.5 Флокуляторы (механические камеры хлопьеобразования)

Во флокуляторах (рисунок 29) перемешивание воды осуществляется лопастными или пропеллерными мешалками. Оси мешалок устанавливают вертикально или горизонтально, причем мешалка может иметь одну или несколько лопастей. Флокуляторы рассчитывают на пребывание воды в них в течение 30–60 мин, движущейся со скоростью 0,2–0,5 м/с.

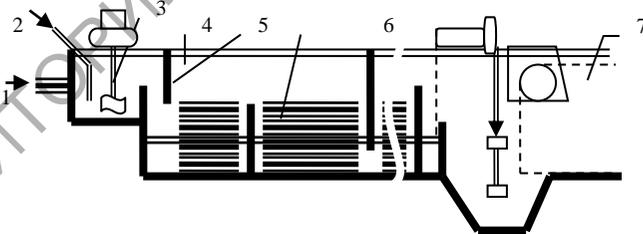


Рисунок 29 – Флокулятор с мешалками на горизонтальной оси:

1 – подача исходной воды; 2 – ввод реагента; 3 – механический смеситель; 4 – флокулятор; 5 – струнаправляющие перегородки; 6 – мешалка; 7 – отстойник

### 6.7 Обработка природных вод отстаиванием

Отстойники предназначены для выделения из воды основной массы

взвеси гравитационным осаждением частиц, имеющих плотность большую, чем плотность воды.

Все современные конструкции отстойников, применяемые для осветления воды, являются проточными, т. е. осаждение взвеси в них происходит при непрерывном движении воды от входа отстойника к его выходу. В этих условиях для того, чтобы осаждение взвеси было возможно, скорости движения воды в отстойниках должны быть весьма малы. При этом поток почти полностью теряет свою так называемую «транспортирующую способность», обусловленную интенсивным турбулентным перемешиванием. Осаждение взвеси в потоке, движущемся с весьма малой скоростью, подчиняется, с известным приближением, законам осаждения в неподвижном объеме жидкости.

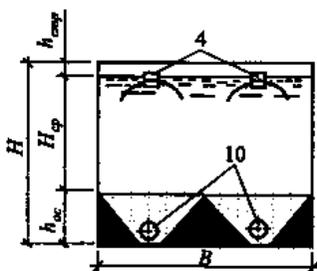
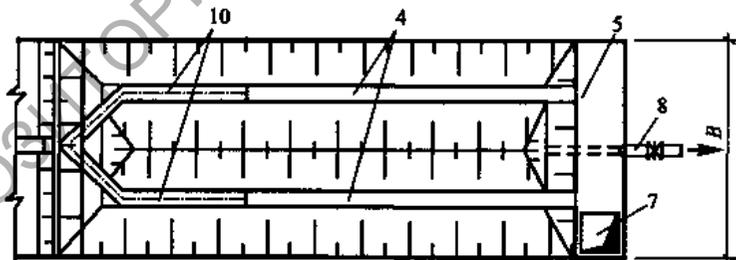
На водопроводных очистных сооружениях для осаждения взвеси используют горизонтальные, вертикальные, в отдельных случаях – радиальные отстойники.

Для осветления высокомутных вод следует предусматривать двухступенчатое отстаивание с обработкой воды реагентами перед отстойниками первой и второй ступеней. В качестве отстойников первой ступени рекомендуется применять радиальные отстойники со скребками на вращающихся фермах или горизонтальные отстойники с цепными скребковыми механизмами.

Камеры хлопьеобразования в горизонтальных отстойниках при осветлении высокомутных вод, как правило, принимают механического типа.

### 6.7.1 Горизонтальные отстойники

Горизонтальный отстойник (рисунок 30) представляет собой железобетонный, прямоугольный в плане, резервуар с плоским перекрытием



и наклонным дном, что облегчает его очистку. Он может быть одно – или двухэтажным. Отстойник оборудуется водораспределительным и водосборным устройствами, трубопроводами для подвода осветляемой воды (при необходимости) и отвода осветленной воды, а также системой удаления осадка.

Рисунок 30 – Горизонтальный отстойник:

1 – камера хлопьеобразования; 2 – водослив; 3 – полупогружная перегородка; 4 – водосборные желоба; 5 – шибер; 6 – сборный канал; 7 – проем; 8 – отвод осветленной воды; 9 – опорожнение отстойника; 10 – система удаления осадка

Для горизонтальных отстойников в климатических районах с продолжительными периодами устойчивых минусовых температур предусматривают утепление наружных стен в виде обваловки грунтом. В качестве утеплителей для перекрытий могут применяться искусственные материалы или грунт высотой слоя не менее 0,5 м. В перекрытиях отстойников предусматривают люки для спуска в отстойники, отверстия для отбора проб на расстоянии не более 10 м друг от друга и вентиляционные трубы.

Горизонтальные отстойники надлежит предусматривать с рассредоточенным по площади сбором воды. Площадь отстойников следует определять для двух периодов: минимальной мутности при минимальном зимнем расходе воды; наибольшей мутности при наибольшем расходе воды, соответствующем этому периоду. Расчетная площадь должна соответствовать наибольшему значению.

При применении встроенных камер хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка расчетную скорость осаждения взвеси в отстойнике при обработке мутных вод надлежит принимать 20 %, при обработке вод средней мутности на 15 % больше, чем указано в таблице 22.

Таблица 22 – Расчетная скорость осаждения взвеси в отстойнике

Характеристика обрабатываемой воды и способ обработки	Скорость выпадения взвеси $U_0$ , задерживаемой отстойниками, мм/с
Маломутные цветные воды, обрабатываемые коагулянтом	0,35–0,45
Воды средней мутности, обрабатываемые коагулянтом	0,45–0,50
Мутные воды, обрабатываемые: коагулянтом	0,50–0,60
флокулянтом	0,20–0,30
Мутные воды, не обрабатываемые коагулянтом	0,08–0,15

В случае применения флокулянтов при коагулировании воды скорости выпадения взвеси следует увеличивать еще на 15–20 %. Нижние пределы  $U_0$  указаны для хозяйственно-питьевых водопроводов.

Вследствие унификации размеров железобетонных стеновых панелей и

сокращения количества монолитных участков длина отстойников, как правило, принимается кратной 3 м. Для гидравлических расчетов толщина стеновых панелей емкостных сооружений (горизонтальных отстойников с камерами хлопьеобразования, резервуаров чистой воды и др.) принимается 200 мм.

В действующих типовых проектах станций водоочистки ширина отстойника принимается 6 м, для крупных станций – 12 м. На станциях большой производительности отстойники разделены продольными перегородками на самостоятельно действующие секции шириной 6 м. При количестве отстойников (или секций) менее 6 следует предусматривать один резервный.

Осадок можно удалять прекращением работы отстойника, сброса воды и смыва накопившегося ила, а также механическим (при помощи скребков) и гидравлическим (через систему сборных дырчатых труб, полутруб или коробов, уложенных по дну отстойника) способами.

Ориентировочное время работы отстойника между сбросами осадка определяется временем накопления осадка до высоты слоя в 1,0–1,5 м.

При гидравлическом удалении или напорном смыве осадка продолжительность работы отстойника между чистками должна быть не менее 12 ч.

Высоту отстойников надлежит определять как сумму высот зон осаждения и накопления осадка с учетом превышения строительной высоты над расчетным уровнем воды не менее 0,3 м. При этом максимальная глубина определяется высотой стеновых панелей, выпускаемых промышленностью.

Для гидравлического удаления осадка следует предусматривать сборную систему из перфорированных труб, обеспечивающую удаление его в течение 20–30 мин. Дно отстойника между трубами сборной системы осадка надлежит принимать плоским или призматическим с углом наклона граней 45°. Расстояние между осями труб предусматривают не более 3 м – при призматическом днище и 2 м – при плоском. Торцевые стены отстойников в нижней своей части выполняются в виде откосов, поэтому при расчете системы сбора и удаления осадка необходимо учитывать уменьшение расчетной длины трубопроводов по сравнению с длиной отстойников.

Скорость движения осадка в конце труб надлежит принимать не менее 1 м/с; в отверстиях – 1,5–2 м/с (диаметр отверстий – не менее 25 мм, расстояние между отверстиями – 300–500 мм). Отверстия располагают в шахматном порядке вниз под углом 45° к оси трубы. Отношение суммарной площади отверстий к площади сечения трубы принимается равным 0,5–0,7. В начале трубы следует предусматривать отверстие диаметром не менее 15 мм для выпуска воздуха.

Количество воды, сбрасываемой из отстойника вместе с осадком, определяют с учетом коэффициента разбавления, принимаемого: 1,5 – при

гидравлическом; 1,2 – при механическом удалении осадка; 2–3 – при напорном смыве осадка. При гидравлическом удалении осадка продольный уклон дна отстойника принимается не менее 0,005.

Сбор осветленной воды следует предусматривать системой горизонтально расположенных дырчатых труб или желобов с затопленными отверстиями или треугольными водосливами, расположенными на участке 2/3 длины отстойника, считая от задней торцевой стенки, или на всю длину отстойника при оснащении его тонкослойными блоками.

Скорость движения осветленной воды в конце желобов и труб – 0,6–0,8 м/с, в отверстиях – 1 м/с.

Верх желоба с затопленными отверстиями должен быть на 10 см выше максимального уровня воды в отстойнике. Заглубление трубы под уровень воды определяется гидравлическим расчетом.

Отверстия в желобе следует располагать на 5–8 см выше дна желоба, в трубах – горизонтально по оси. Диаметр отверстий – не менее 25 мм.

Расстояние между осями желобов или труб должно быть не более 3 м.

Излив воды из желобов и труб в сборный карман должен быть свободным. Рекомендуемые скорости движения воды в элементах сборного канала – 0,2–0,4 м/с.

Время полного опорожнения отстойника должно составлять не более 6 ч.

Расчет горизонтальных отстойников рекомендуется вести в следующем порядке.

Определяют площадь отстойников в плане, м<sup>2</sup>,

$$F_{г.о.} = \frac{Q_{\text{час}} \alpha}{3,6 u_o}, \quad (77)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – производительность станции, м<sup>3</sup>/ч;

$\alpha$  – коэффициент объемного использования отстойников, принимаемый равным 1,3;

$u_o$  – скорость выпадения взвеси, мм/с, принимаемая по таблице 22.

Находят длину отстойников, м:

$$L = \frac{H_{\text{ср}} v_{\text{ср}}}{u_o}, \quad (78)$$

где  $H$  – средняя высота зоны осаждения (принимается равной 3–3,5 м, в зависимости от высотной схемы станции);

$v_{\text{ср}}$  – расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника (принимается равной 6–8, 7–10 и 9–12 мм/с для

маломутных, средней мутности и мутных вод соответственно).

Ширину отстойника, соответствующую размеру плит перекрытия, принимают в осях – 6 м, а в чистоте – 5,8 м.

Рассчитывают количество рабочих отстойников, шт.:

$$N_p = \frac{F_{г.о.}}{LB} . \quad (79)$$

Вычисляют рабочую глубину отстойника, м:

$$H_p = H_{ср} + h_{ос}, \quad (80)$$

где  $H_{ср}$  – средняя высота зоны осаждения, м;

$h_{ос}$  – высота зоны накопления и уплотнения осадка, м. Принимается 1,0–1,5 м.

С учетом высоты строительного борта полная высота отстойника составит, м,

$$H = H_p + h_{стр}, \quad (81)$$

где  $h_{стр}$  – высота строительного борта, м,

Определяют площадь одного отстойника в плане, м<sup>2</sup>:

$$F_1 = BL . \quad (82)$$

Объем осадочной части отстойника составит, м<sup>3</sup>,

$$W_{ос.ч} = 0,7F h_{ос}, \quad (83)$$

где 0,7 – коэффициент, учитывающий снижение объема зоны накопления и уплотнения осадка вследствие призматичности днища.

Находят период работы отстойника между сбросами осадка, ч, по формуле:

$$T_p = \frac{W_{ос.ч} N_p \delta}{Q_{час}(C_B - M_{осв})}, \quad (84)$$

где  $W_{ос.ч}$  – объем зоны накопления и уплотнения осадка, м<sup>3</sup>;

$N_p$  – количество рабочих отстойников;

$\delta$  – средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы осадка, г/м<sup>3</sup>, в зависимости от мутности воды и

продолжительности интервалов между сбросами, принимаемая по данным таблице 23;

$C_B$  – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающих в отстойник (с учетом мутности и цветности исходной воды, нерастворимых веществ, вводимых с реагентами), г/м<sup>3</sup>.

$M_{осв}$  – мутность воды, выходящей из отстойника, принимается от 8 до 15 г/м<sup>3</sup>;

$$C_B = M + K D_k + 0,25Ц + И, \quad (85)$$

где  $M$  – количество взвешенных веществ в исходной воде, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $K$  – переводной коэффициент, равный для очищенного сернокислого алюминия 0,55, для неочищенного сернокислого алюминия – 1, для хлорного железа – 0,8;

$D_k$  – доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, мг/дм<sup>3</sup>;

$Ц$  – цветность воды, град;

$И$  – количество нерастворимых веществ, вводимых с известь в воду, мг/дм<sup>3</sup>;

$$И = (1 - 0,4) D_{и}, \quad (86)$$

где  $D_{и}$  – доза извести, мг/дм<sup>3</sup>;

0,4 – содержание СаО в извести (в долях по весу).

При обработке исходной воды коагулянтами совместно с флокулянтами среднюю концентрацию твердой фазы в осадке надлежит принимать на 25 % больше для маломутных цветных вод и на 15 % – для вод средней мутности, указанных в таблице 23.

Определяют объем зоны осаждения одного отстойника, м<sup>3</sup>:

$$W_{з.о.} = B H_{cp} L. \quad (87)$$

Рабочий объем одного отстойника, м<sup>3</sup>,

$$W_1 = W_{з.о.} + W_{ос.ч.} \quad (88)$$

Таблица 23 – Средняя концентрация твердой фазы осадочной части отстойника

Мутность исходной воды, мг/дм <sup>3</sup>	Применяемые реагенты	Средняя по высоте осадочной части отстойника концентрация твердой фазы в осадке, г/м <sup>3</sup> , при интервалах между сбросами, ч		
		6	12	24 и более

До 50	Коагулянт	9000	12000	15000
Св. 50 до 100	»	12000	16000	20000
» 100 » 400	»	20000	32000	40000
» 400 » 1000	»	35000	50000	60000
» 1000 » 1500	»	80000	100000	120000
Св. 1500	Флокулянт	90000	140000	160000
» 1500	Без реагентов	200000	250000	300000

Время пребывания воды в отстойнике в среднем составит, ч,

$$t = \frac{W_1 N_p}{Q_{\text{час}}} . \quad (89)$$

При гидравлическом удалении осадка из отстойника предусматривается гидравлическая система из префорированных труб. Дно отстойника между трубами сборной системы осадка принимается призматическим с углом наклона граней  $45^\circ$ , продольный уклон дна отстойника 0,005 в сторону сброса осадка.

Количество воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ , сбрасываемой из отстойника вместе с осадком, определяется с учетом коэффициента разбавления ( $K_p = 1,5$ ) при продолжительности сброса осадка  $t_c = 20-30$  мин

$$q_{\text{ос}} = \frac{W_{\text{ос.ч}} K_p}{t_c 60} . \quad (90)$$

Для удаления осадка принимаются к монтажу в отстойнике асбестоцементные трубопроводы с расстоянием между их осями 3 м. Расстояние между осями труб и стен принимается 1,5 м. В конце каждой трубы для выпуска воздуха предусматривается отверстие диаметром не менее 15 мм, направленное вверх.

При расчетном расходе на одну трубу  $q_{\text{ос}}^1$  скорость движения воды с осадком в конце трубы,  $\text{м}/\text{с}$ ,

$$v = \frac{4q_{\text{ос}}^1}{\pi D^2} . \quad (91)$$

Осадок поступает в трубы через отверстия при отношении суммарной площади отверстий к площади сечения трубы 0,5–0,7. Тогда суммарная площадь отверстий в одной трубе,  $\text{м}^2$ ,

$$\sum f_o = 0,7 \frac{\pi D^2}{4}. \quad (92)$$

При принятом диаметре отверстий ( $d_o$  не менее 25 мм и площади  $f_o$ ) требуемое количество отверстий, шт.,

$$n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}. \quad (93)$$

Рассчитывают скорость движения осадка в отверстиях, м/с:

$$v_o = \frac{q_{oc}^1}{f_o n_o}. \quad (94)$$

Отверстия располагаются в шахматном порядке. Шаг оси отверстий, м,

$$l_o = \frac{2L}{n_o}. \quad (95)$$

Трубопроводы сброса осадка в начале отстойника объединяются в один трубопровод, который через камеру хлопьеобразования выводится к сточной системе. Выпуск шлама из отстойников производится по уровню осадка, контролируемому многоточечным регулирующим устройством типа СУ-102, устанавливаемым на щите оператора служебного корпуса. Оператор получает сигнал о предельном уровне шлама. Выпуск осадка и регулировка осуществляются по месту с помощью электрифицированных затворов, управляемых пускателями. Для визуального наблюдения и контроля за процессом сброса осадка в сточной трубе предусмотрен патрубок, выведенный в открытый лоток.

Сбор осветленной воды предусматривается системой горизонтально расположенных желобов с затопленными отверстиями. Длина желобов составляет 2/3 длины отстойника. Принимаются по два желоба в каждом отстойнике при расстоянии между их осями 3 м. Они укладываются на поперечные опорные балки.

Расход, приходящийся на один желоб, м<sup>3</sup>/с,

$$q_{ж} = \frac{Q_{час}}{3600 N_p n_{ж}}. \quad (96)$$

Скорость движения воды в отверстиях принимается 1 м/с, тогда суммарная площадь отверстий в желобе, м<sup>2</sup>,

$$\sum f_{\text{ож}} = \frac{q_{\text{к}}}{v_{\text{ож}}} . \quad (97)$$

Количество отверстий, шт., при  $d_{\text{ож}}$  не менее 25 мм и площади  $f_{\text{ож}}$ , м<sup>2</sup>,

$$n_{\text{ож}} = \frac{\sum f_{\text{ож}}}{f_{\text{ож}}} . \quad (98)$$

При длине желоба  $L_{\text{ж}}$  шаг оси отверстий, м,

$$l_{\text{ож}} = \frac{2L_{\text{ж}}}{n_{\text{ож}}} . \quad (99)$$

Оси отверстий располагаются на 5–8 см выше дна желоба. При скорости движения осветленной воды в конце желоба (0,6–0,8 м/с) площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>,

$$\omega = \frac{q_{\text{ж}}}{v_{\text{ж}}} . \quad (100)$$

При ширине желоба ( $b_{\text{ж}} = 0,3–0,5$  м) высота слоя воды, м,

$$h_{\text{ж}} = \frac{\omega}{b_{\text{ж}}} . \quad (101)$$

Определяют расход воды через отверстие, м<sup>3</sup>/с:

$$q_{\text{ож}} = \frac{q_{\text{ж}}}{n_{\text{ож}}} . \quad (102)$$

Регулирование отбора воды предусматривается шиберами.

Из желобов осветленная вода поступает в сборный двухэтажный канал (рисунок 32) (шириной в чистоте –  $B_{\text{к}}$ ). Для равномерности распределения воды отвод на фильтры производится из нижней части канала, которая соединяется с верхним проемом. Верхняя часть выполняет роль успокоителя, а также в ней

происходит выделение из воды воздуха.

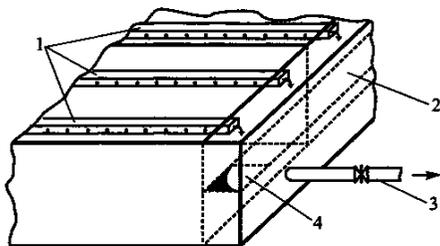


Рисунок 32 – Сборный канал:  
1 – желоба; 2 – сборный двухэтажный канал; 3 – отвод воды на фильтры; 4 – проем

Горизонтальную перемычку с проемом располагают на 1,0–1,2 м ниже уровня воды в канале.

Для полного опорожнения отстойников в концевой части каждого предусматривается трубопровод, выводимый к сточной системе.

Отстойники с встроенными камерами хлопьеобразования выполняются в сборно-монолитном железобетоне. Для утепления одна сторона отстойников и камер хлопьеобразования обваловывается грунтом, с другой – проектируется проходная галерея с обводным трубопроводом и обваловка не предусматривается. Перекрытие отстойников утепляется керамзитобетоном с выполнением гидроизоляции. Для проведения ремонтно-профилактических работ спуск в отстойники предусматривается по лестницам-стремянкам из павильона камер хлопьеобразования и фильтрозала, охватывающего концевую часть отстойников. При данном проектном решении устройство специальных вентиляционных труб и люков-лазов не требуется. В перекрытии через 10 м предусмотрены пробоотборные колонки  $D = 100$  мм со съёмными крышками.

#### 6.7.2 Вертикальные отстойники с водоворотными камерами хлопьеобразования

Вертикальные отстойники рекомендуется применять в качестве первой ступени на станциях реагентной очистки воды производительностью до 5 тыс. м<sup>3</sup>/сут, при мутности исходной воды до 1500 мг/дм<sup>3</sup> и цветности до 120 град.

Сооружение выполняется в виде круглого или квадратного в плане резервуара с коническим или пирамидальным днищем для накопления и уплотнения осадка (рисунок 33). В центре предусматривается встроенная камера хлопьеобразования водоворотного типа, представляющая собой металлический или железобетонный цилиндр, в верхнюю часть которого поступает вода по трубопроводу, снабженному на конце соплами-насадками.

Сопла направлены по касательной и закреплены в виде неподвижного сегнера колеса, благодаря чему создается вращательное движение воды, способствующее эффективному ее перемешиванию при движении сверху вниз. Для гашения вращательного движения воды при ее переходе в отстойник, которое могло бы ухудшить его работу, внизу камеры устраивают гаситель в виде крестообразной решетки.

Отстойник имеет конусное днище с углом наклона между стенками конуса  $70-80^{\circ}$ . Диаметр отстойника  $5-10$  м, глубина – до  $7$  м. Скорость восходящего потока воды должна составлять до  $0,6$  мм/с, время отстаивания до  $2$  часов.

Как показывает опыт эксплуатации вертикальных отстойников, при малых скоростях восходящего потока основное количество коагулированной взвеси осаждается в отстойнике. Это объясняется тем, что в медленно восходящем потоке воды коагулированная взвесь, постепенно агломерируясь, достигает таких размеров, что скорость ее осаждения становится больше скорости восходящего потока.

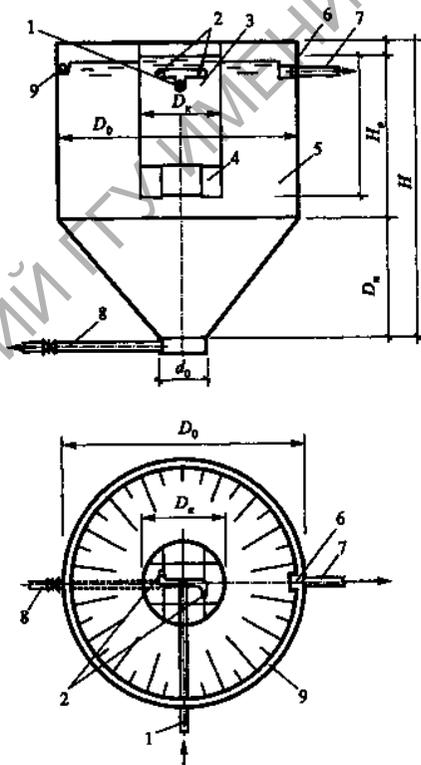


Рисунок 33 – Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования:

1 – подача воды; 2 – распределительные сопла; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – решетка-гаситель; 5 – вертикальный отстойник; 6 – сборный карман; 7 – отвод осветленной воды; 8 – удаление осадка; 9 – сборный кольцевой желоб

Сбор осветленной воды предусматривается периферийными и (при большой площади отстойника) радиальными желобами с затопленными отверстиями или треугольными водосливами.

Выпуск накопившегося и уплотненного осадка может производиться во время работы отстойника.

**Проектирование вертикальных отстойников.** В соответствии с предполагаемыми размерами здания и компоновкой сооружений определяют ориентировочно число отстойников. При их количестве менее шести предусматривается один резервный.

Площадь зоны осаждения вертикального отстойника (без установки в нем тонкослойных блоков) определяют для двух периодов: минимальной мутности при минимальном зимнем расходе воды; наибольшей мутности при наибольшем расходе воды, соответствующем этому периоду.

Расчетная площадь зоны осаждения,  $\text{м}^2$ , должна соответствовать наибольшему значению:

$$F_{\text{в.о.}} = \frac{Q_{\text{час}} \beta_{\text{об}}}{3,6 v_p N_p}, \quad (103)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – расчетный расход станции для периодов максимального и минимального суточного водопотребления,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\beta_{\text{об}}$  – коэффициент, учитывающий объемное использование отстойника, величина которого принимается 1,3–1,5 (нижний предел – при отношении диаметра к высоте отстойника 1, верхний – при 1,5);

$v_p$  – расчетная скорость восходящего потока,  $\text{мм}/\text{с}$ , принимаемая (при отсутствии данных технологических изысканий) не более указанных в таблице 22;

$N_p$  – количество рабочих отстойников.

Площадь зеркала воды в отстойнике складывается из площадей зоны осаждения и встроенной камеры хлопьеобразования.

При времени пребывания воды в камере хлопьеобразования  $t = 15\text{--}20$  мин и ее высоте  $H_k = 3,5\text{--}4$  м площадь камеры,  $\text{м}^2$ ,

$$F_k = \frac{Q_{\text{час}} t}{60 H_k N_p}. \quad (104)$$

Камеры принимают круглой в плане формы при диаметре в чистоте,  $\text{м}$ ,

$$D_k = \sqrt{\frac{4F_k}{\pi}}. \quad (105)$$

Для гашения вращательного движения воды при ее переходе в отстойник внизу камеры устраивают решетку в виде крестообразной перегородки с ячейками размером  $0,5 \times 0,5$  м, высотой 0,8 м.

Диаметр трубопровода, подводящего обрабатываемую воду к камере хлопьеобразования, принимается по скорости 0,7–1 м/с, скорость выхода воды из распределительных сопел-насадок, направленных по касательной, принимают 2–3 м/с. Сопла располагаются на расстоянии 0,2 диаметра камеры от стенки на глубине 0,5 м от поверхности воды.

Расход воды на один отстойник,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ,

$$q_1 = \frac{Q_{\text{час}}}{3,6N_p}. \quad (106)$$

При данном расходе принимаются стальной трубопровод, подводящий обрабатываемую воду к камере хлопьеобразования, и скорость движения воды в нем. Распределение воды в камере предусмотрено двумя соплами-насадками, направленными по касательной к стенке с нагрузкой,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ,

$$q_c = \frac{q_1}{2}. \quad (107)$$

Диаметр сопла, м,

$$d_c = \sqrt{\frac{4q_c 10^{-3}}{\pi v_c}}. \quad (108)$$

Потеря напора в сопле, м,

$$h = \xi \frac{v_c^2}{2g}, \quad (109)$$

где  $\xi$  – коэффициент местных сопротивлений, принимаем равным 1,18;

$v_c$  – скорость выхода воды из сопла, м/с.

Общая площадь одного отстойника,  $\text{м}^2$ ,

$$F_o = F_{в.о.} + F_k, \quad (110)$$

По условиям компоновки выбираются форма сооружений и размеры в плане.

Отстойники приняты железобетонными, круглой в плане формы, при внутреннем диаметре, м,

$$D_o = \sqrt{\frac{4F_o}{\pi}}. \quad (111)$$

Расчетная высота камеры хлопьеобразования  $H_k$ , м, принимается равной 90 % высоты зоны осаждения  $H_o$ , м,

$$H_o = \frac{H_k}{0,9}. \quad (112)$$

Проверяется отношение  $D_o : H_o$  и коэффициент объемного использования отстойников  $\beta_{об}$ .

Высота конической части отстойника, м,

$$h_k = \frac{D_o - d}{2 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (113)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода для сброса осадка, м;

$\alpha$  – угол наклона между стенками конуса.

Полная высота отстойника, м,

$$H = H_o + H_k + H_{стр}, \quad (114)$$

где  $h_{стр}$  – высота строительного борта, м.

Объем осадочной конической части определяется по формуле

$$W_{ос.ч} = \frac{\pi h_k}{3} \left[ \left( \frac{D_o}{2} \right)^2 + \left( \frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D_o d}{2} \right]. \quad (115)$$

Период работы отстойника между сбросами осадка, ч,

$$T_p = \frac{W_{ос.ч} N_p \delta}{Q_{час} (C_B - M_{осв})}, \quad (116)$$

где  $\delta$  – средняя концентрация твердой фазы осадка, г/м<sup>3</sup> (см. таблицу 23);  
 $C_v$  – средняя концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в отстойник, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $M_{осв}$  – мутность воды, выходящей из отстойника, принимается:  
 8–12 мг/дм<sup>3</sup>;

В соответствии с примечанием к таблице 23 концентрацию уплотненного осадка увеличивают на 15 % в случае использования в технологии водоподготовки флокулянта совместно с коагулянтом.

Количество воды, дм<sup>3</sup>/с, сбрасываемой из отстойника вместе с осадком, определяется с учетом коэффициента разбавления  $K = 1,5$  при продолжительности сброса осадка  $t_c$ , равная 8–10 мин:

$$q_{ос} = \frac{W_{ос.ч} K_p}{60 t_c}. \quad (117)$$

Сброс осадка производится (без выключения отстойника) по трубопроводу диаметром  $d$  при скорости движения воды с осадком в конце трубы, м/с,

$$v = \frac{4 q_{ос}}{\pi d^2}. \quad (118)$$

Опорожнение отстойника предусмотрено этим же трубопроводом. Сбор осветленной воды в вертикальном отстойнике производится периферийными кольцевыми или радиальными желобами с затопленными отверстиями (треугольными водосливами). Вода, поступающая в желоб, при движении в сторону сборного кармана разделяется на два потока с расходом, м<sup>3</sup>/с,

$$q_{ж} = \frac{Q_{час}}{3600 N_p 2}. \quad (119)$$

При скорости движения осветленной воды в конце желоба (0,5–0,6 м/с) площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>,

$$\omega_{ж} = \frac{q_{ж}}{v_{ж}}. \quad (120)$$

При ширине желоба  $b_{ж} = 0,3–0,5$  м, высота слоя воды, м,

$$h_{\text{ж}} = \frac{\omega_{\text{ж}}}{b_{\text{ж}}}. \quad (121)$$

Периметр периферийного желоба по внутренней образующей диаметром  $D = D_o - 2b_{\text{ж}}$ , м,

$$P = \pi D. \quad (122)$$

Скорость движения воды в отверстиях принимается не менее 1 м/с. Тогда суммарная площадь отверстий в желобе, м<sup>2</sup>,

$$\sum f_{\text{ож}} = \frac{2q_{\text{ж}}}{v_{\text{ож}}}. \quad (123)$$

Количество отверстий, шт., при  $d_{\text{ож}}$  не менее 25 мм и площади  $f_{\text{ож}}$ , м<sup>2</sup>,

$$n_{\text{ож}} = \frac{\sum f_{\text{ож}}}{f_{\text{ож}}}. \quad (124)$$

При длине желоба  $L_{\text{ж}}$  шаг оси отверстий, м,

$$l_{\text{ож}} = \frac{P}{n_{\text{ож}}}. \quad (125)$$

Оси отверстий располагают на 5 см выше дна желоба.

### 6.7.3 Радиальные отстойники

Они применяются для станций любой производительности для частичного или предварительного осветления высокомутных вод (мутность – свыше 1500 мг/дм<sup>3</sup>) при цветности исходной воды до 120 град. Отстойники данного типа могут использоваться как в технологических схемах с применением коагулянтов и флокулянтов, так и без них. Широкое распространение радиальные отстойники получили в оборотных системах для очистки воды от механических производственных примесей в металлургической, горной и других отраслях промышленности. Однако невозможность применения открытых радиальных отстойников при устойчивых отрицательных температурах наружного воздуха в зимний период ограничивает их применение.

Отстойник данного типа – круглый в плане заглубленный железобетонный резервуар (рисунок 34), в центральную часть которого снизу подводится осветляемая вода. Водораспределительное устройство радиального отстойника, выполняющее также роль успокоителя, представляет собой полый дырчатый цилиндр, заглушенный нижний торец которого располагается под уровнем воды на глубине, равной глубине отстойника у периферийной стенки. Наличие такого цилиндра способствует более равномерному распределению воды по рабочей высоте отстойника.

Вода, подаваемая в радиальные отстойники, движется от центра к периферии (по радиусам).

Конически расположенные живые сечения общего радиального потока непрерывно увеличиваются, что при постоянстве его расхода означает такое же непрерывное уменьшение скоростей движения воды от центра к периферии. Такие гидравлические условия движения воды весьма благоприятны для отстаивания. Кроме того, преимуществами радиального отстойника является незначительная глубина (даже при больших производительностях) и возможность непрерывного механизированного удаления осадка. Для его удаления служит медленно вращающаяся металлическая ферма с укрепленными на ней скребками, сгребающими осадок к центру отстойника в грязевой приямок, откуда он непрерывно или периодически выпускается или откачивается. Одним концом ферма опирается на опору в центре отстойника, а другим – на тележку,двигающуюся по стенке отстойника.

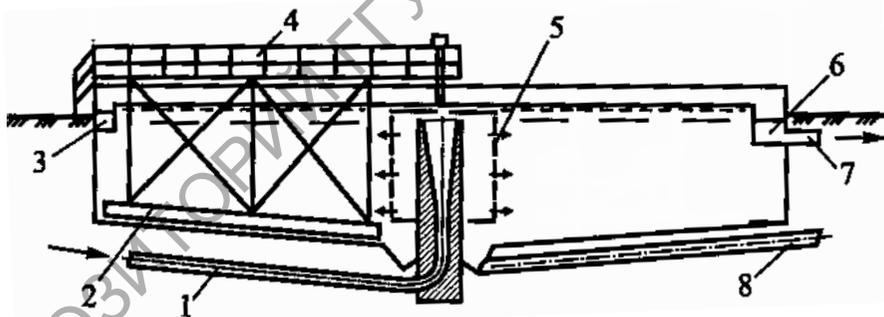


Рисунок 34 – Радиальный отстойник:

1 – подача исходной воды; 2 – скребок; 3 – кольцевой лоток; 4 – вращающаяся ферма; 5 – водораспределительное устройство; 6 – сборный карман; 7 – отвод отстойной воды; 8 – удаление осадка

Осветленная вода собирается кольцевым периферийным желобом с затопленными отверстиями или треугольными водосливами.

Скорость выпадения взвеси принимается 0,5–0,6 мм/с.

Радиус вихревой зоны принимают на 1 м больше радиуса водораспределительного устройства, где вследствие вихреобразного движения воды осаждение взвеси почти не происходит.

Радиус распределительного цилиндра следует принимать 1,5–2,5 м, низ его выполняется глухим и располагается на глубине, равной высоте слоя воды у периферийной стенки.

Вращающиеся фермы со скребками для радиальных отстойников предусматриваются с периферическим приводом, частота вращения – регулируемая, мощность приводного электродвигателя – 1,1–1,5 кВт.

Площадь отверстий в боковой стенке водораспределительного устройства определяется из расчета скорости движения воды через них 1 м/с при диаметре отверстий 40–50 мм.

Сбор осветленной воды следует предусматривать кольцевыми периферийными желобами с затопленными отверстиями или треугольными водосливами.

## 6.8 Осветлители природных вод

Метод обработки воды в слое ранее образованного взвешенного осадка широко используют в технологии ее осветления, обесцвечивания, умягчения, дефторирования, обезжелезивания и обескремнивания.

*Осветлители* со слоем взвешенного осадка, применяемые как сооружения первой ступени водоподготовки, могут успешно работать только при условии предварительной обработки примесей воды коагулянтном или флокулянтном. Они выполняются из сборного или монолитного железобетона или металла.

Осветлители могут быть:

- 1) прямоугольными, квадратными и круглыми в плане;
- 2) напорными и безнапорными;
- 3) с принудительным отсосом осадка и с помощью дырчатых труб.

Преимущества по сравнению с отстойниками:

1) эффективность осветления и обесцвечивания воды в осветлителях со взвешенным осадком в 1,5–2,0 раза выше (до 5–8 мг/дм<sup>3</sup>), чем в обычных отстойниках.;

2) имеют более высокую производительность.

Недостатки:

1) сложны по конструкции и эксплуатации;

2) для нормальной работы осветлителей необходим постоянный расход и температура воды. Резкие колебания расхода приводят к размыву взвешенного слоя и выносу его частиц. При повышенной температуре поступающей воды по сравнению с водой в осветлителе, образуются конвективные потоки, что тоже приводит к разрушению взвешенного слоя;

3) они могут работать только при условии предварительной обработки примесей воды коагулянтom или флокулянтom.

При реагентном методе очистки природной воды схему «осветлители с взвешенным осадком – скорые фильтры» следует предусматривать для станций производительностью более 5000 м<sup>3</sup>/сут при мутности исходной воды от 50 до 1500 мг/дм<sup>3</sup> и цветности до 120 град.

Для нормальной работы осветлителей необходимо обеспечить равномерную подачу воды на сооружения или постепенное изменение расхода в пределах не более ±15 % в 1 ч и колебания температуры воды не более ±1 °С в 1 ч. Спонтанные колебания расхода воды вызывают размыв взвешенного слоя и вынос хлопьев в зону осветления. Колебания температуры воды, особенности поступление более теплой, чем находящейся в осветлителе, влекут за собой возникновение конвективных токов, приводящих к нарушению взвешенного слоя и замутнению осветленной воды.

При повышенном содержании в обрабатываемой воде железа, марганца целесообразно применять осветлители, так как наличие взвешенного слоя осадка является хорошим катализатором процессов, и эффект значительно повышается.

Скорости восходящего потока воды в осветлителях принимают в пределах 0,5–1,2 мм/с в зависимости от содержания взвешенных веществ в очищаемой воде и периода года. Меньшие значения скоростей принимаются при низкой мутности воды и для зимнего периода года. Скорость восходящего потока воды равна скорости осаждения хлопьев.

Осветлители проектируются круглой или прямоугольной в плане формы. Диаметр круглых осветлителей не должен превышать 12–14 м. Площадь прямоугольного осветлителя не должна превышать 120–150 м<sup>2</sup>. Осветлители, как правило, работают без камер хлопьеобразования.

Для нормальной, надежной работы осветлителей обязательными условиями являются организация отвода избыточного осадка, равномерного распределения воды по площади осветлителя и отведения осветленной воды.

Высота слоя взвешенного осадка принимается – 2–2,5 м. Высота зоны осветления – 1,5–2,5 м.

Концентрация взвешенных веществ в воде после осветлителя – до 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Продолжительность уплотнения осадка – от 3 ч (мутность – 400 мг/дм<sup>3</sup>) до 6 ч (с меньшей мутностью).

Осветлители со взвешенным осадком могут быть с естественным отбором избыточного осадка, когда этот избыток поступает в шламоуплотнитель вследствие разности плотностей жидкости в зоне взвешенного слоя и в шламоуплотнителе, а также с принудительным отсосом, при котором избыток шлама отсасывается из шламоуплотнителя.

Наибольшее применение в типовом проектировании и практике получили

осветлители коридорного типа с вертикальными осадкоуплотнителями (рисунок 35).

Осветлители этого типа представляют собой прямоугольные в плане железобетонные резервуары, разделенные перегородками на коридоры, из которых два рабочих отделения и шламоуплотнитель с принудительным отводом избыточного шлама из взвешенного слоя.

Смешанная с введенными реагентами вода равномерно распределяется по длине рабочих камер при помощи уложенных по дну дырчатых труб телескопической формы. Осветленная вода отбирается через треугольные водосливы или затопленные отверстия в желобах, расположенных вдоль коридоров освещения, и поступает в общий сборный канал, из которого отводится по трубопроводам на фильтры. Для обеспечения принудительного отсоса избытка осадка из взвешенного слоя через окна в осадкоуплотнители осуществляется постоянный отбор из их верхней части осветленной воды посредством затопленных дырчатых труб, подключенных к общему каналу осветлителей. При помощи регулирующих задвижек обеспечивают такой отбор воды из осадкоуплотнителей, чтобы уровень воды в них был несколько ниже, чем уровень воды в осветлителях. Частицы взвеси, поступающие в осадкоуплотнитель, под влиянием силы тяжести выпадают на дно. Уплотненный осадок выпускается по уложенным у дна дырчатым трубам на сооружения обработки осадка или в водосток.

С целью предотвращения подсоса осветленной воды в осадкоуплотнители через окна над ними устанавливают специальные защитные козырьки. Прямоугольная форма осветлителей обуславливает простоту их компоновки в пределах водоочистного комплекса.

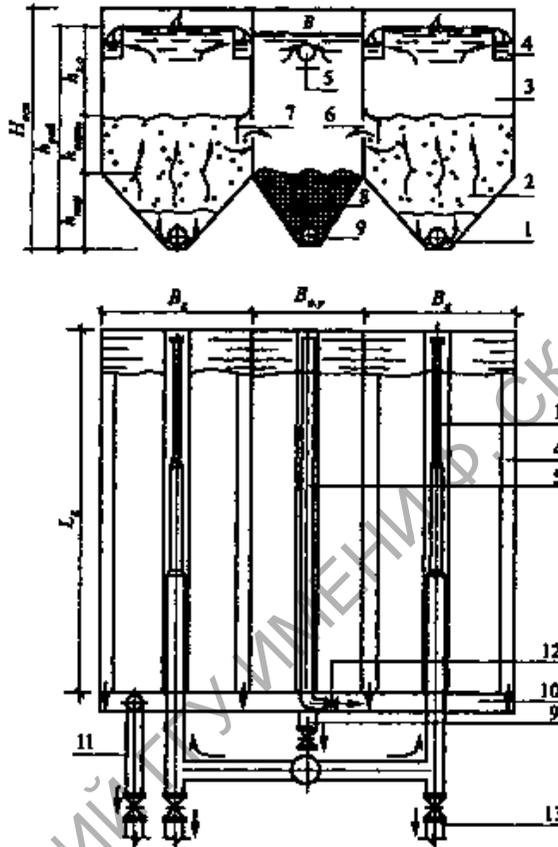


Рисунок 35 – Схема коридорного осветлителя:

А – рабочие коридоры; В – осадкоуплотнитель; 1 – перфорированные водораспределительные трубы; 2 – слой взвешенного осадка; 3 – зона осветления воды; 4 – сборные желоба; 5 – отвод осветленной воды из осадкоуплотнителя; 6 – осадкоприемные окна; 7 – защитные козырьки; 8 – слой уплотненного осадка; 9 – сброс осадка; 10 – сборный канал; 11 – отвод воды на фильтры; 12 – задвижка, регулирующая отсос избытка осадка; 13 – опорожнение рабочих коридоров

При количестве осветлителей менее шести следует предусматривать один резервный, при этом расчет ведут на рабочие осветлители. Распределение обрабатываемой воды по площади осветлителя производят перфорированными трубами, размещаемыми друг от друга на расстоянии не более 3 м в осях. Диаметры труб рассчитываются по скорости движения воды 0,5–0,6 м/с. Суммарную площадь отверстий в них (диаметром не менее

25 мм) находят по скорости выхода воды 1,5–2 м/с. Расстояние между отверстиями, располагаемыми вниз под углом 45° по обе стороны трубы в шахматном порядке, принимают не более 0,5 м.

Высоту слоя взвешенного осадка назначают 2–2,5 м, потеря напора в котором определяется из расчета 1–2 см на 1 м его высоты. Высоту зоны осветления принимают 2–2,5 м. Угол между наклонными стенками нижней части зоны взвешенного осадка принимают 60–70°. Центральный угол, образуемый прямыми линиями, проведенными от оси водораспределительного коллектора к верхним точкам кромок желобов, должен составлять не более 30°. Низ осадкоприемных окон или кромку осадкоотводящих труб располагают на 1–1,5 м выше перехода наклонных стенок зоны взвешенного осадка в вертикальные. Высота стенок должна на 0,3 м превышать расчетный уровень воды в нем. Расстояние между сборными желобами с треугольными водосливами или перфорированными трубами в зоне осветления принимают не более 3 м.

Для круглых в плане осветлителей диаметром до 4 м устраивают только периферийный желоб, а при большем диаметре добавляют радиальные: при диаметре аппарата 4–6 м – 4–6 радиальных желобов; при диаметре 6–10 м – 6–8 желобов.

Высоту водосливов принимают 40–60 мм, а расстояние между их осями – 100–150 мм при угле между кромками водослива 60°. Расчетная скорость движения воды в сборных желобах или трубах принимается 0,5–0,6 м/с.

Осадкоприемные окна рассчитывают по скорости движения воды с осадком 10–15 мм/с (36–54 м/ч), а осадкоотводящие трубы – 40–60 мм/с (144–216 м/ч). Во избежание подсоса в осадкоуплотнитель осветленной воды и для направленного отведения осадка в осадкоуплотнитель осадкоприемные окна и трубы перекрывают козырьками. Сбор и отведение осветленной воды из осадкоуплотнителя производят затопленными перфорированными трубами. Диаметр перфорированных труб рассчитывается по скорости движения воды не более 0,5 м/с. Отверстия в них принимаются диаметром 15–20 мм. Скорость входа воды в них – не менее 1,5 м/с. Верх сборных дырчатых труб располагают не менее чем на 0,3 м ниже уровня воды в вертикальном осадкоуплотнителе и не менее чем на 1,5 м выше верха осадкоприемных окон.

Сборные перфорированные трубы для отвода осветленной воды из поддонных осадкоуплотнителей располагают под герметичным перекрытием. На сборных трубах при выходе их в сборный канал (карман) или при присоединении к отводному трубопроводу устанавливают дросселирующую задвижку, регулирующую величину отсоса избытка осадка из взвешенного слоя. Между низом сборной трубы и уровнем воды в общем, сборном канале осветлителя должен быть перепад не менее 0,4 м.

Продолжительность уплотнения осадка принимают 2–3 ч при наличии

сгустителей и не менее 6 ч – при их отсутствии. Угол между наклонными стенками осадкоуплотнителя принимают 70°. Сброс осадка из осадкоуплотнителя производят периодически перфорированными трубами диаметром не менее 150 мм не более чем за 15–20 мин. Расстояние между стенками соседних труб принимают до 3 м, причем в осадкоуплотнителе их может быть одна или две.

Среднюю скорость движения осадка в отверстиях дырчатых труб принимают до 3 м/с, скорость в конце дырчатой трубы – не менее 1 м/с, диаметр отверстий – не менее 20 мм при шаге оси отверстий не более 0,5 м.

Количество воды, удаляемой с осадком, определяют с учетом коэффициента разбавления осадка, равным 1,5.

При вышеуказанных параметрах расчет осветлителей рекомендуется вести в такой последовательности.

Определяют суммарную площадь зоны осветления, м<sup>2</sup>,

$$F_{\text{осв}} = \frac{Q_{\text{час}} K_{\text{р.в}}}{3,6v_{\text{осв}}}, \quad (126)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

$K_{\text{р.в}}$  – коэффициент распределения воды между зонами осветления и отделения осадка (таблица 24);

$v_{\text{осв}}$  – скорость восходящего потока воды в зоне осветления, мм/с (по таблице 24).

Таблица 24 – Расчетные параметры для осветлителей

Мутность воды, поступающей в осветлитель, мг/дм <sup>3</sup>	Скорость восходящего потока воды в зоне осветления, $v_{\text{осв}}$ , мм/с		Коэффициент распределения воды $K_{\text{р.в}}$
	в зимний период	в летний период	
От 50 до 100	0,5–0,6	0,7–0,8	0,70–0,80
Св. 100 » 400	0,6–0,8	0,8–1,0	0,80–0,70
» 400 » 1000	0,8–1,0	1,0–1,1	0,70–0,65
» 1000 » 1500	1,0–1,2	1,1–1,2	0,64–0,60

Находят площадь зоны отделения осадка, м<sup>2</sup>:

$$F_{\text{отд}} = \frac{Q_{\text{час}}(1 - K_{\text{р.в}})}{3,6v_{\text{осв}}}, \quad (127)$$

Ориентировочная суммарная площадь осветителей составляет, м<sup>2</sup>,

$$F = F_{\text{осв}} + F_{\text{отд}}, \quad (128)$$

Каждый осветитель состоит из трех коридоров. В двух коридорах происходит осветление воды в слое взвешенного осадка. Между ними располагается коридор для отделения и уплотнения осадка – осадкоуплотнитель (рисунок 35).

Наиболее часто длину коридора  $L_k$  принимают 9; 12,0 м в осях (8,8–11,8 м в чистоте) при ширине коридоров  $B_k$  осветления 3,0 м (в чистоте – 2,8 м). При этом суммарная площадь коридоров осветления одного осветителя, м<sup>2</sup>,

$$F_{\text{осв1}} = 2B_k L_k. \quad (129)$$

Рассчитывают при принятых размерах коридоров осветления требуемое количество рабочих осветителей, шт.:

$$N_p = \frac{F_{\text{осв}}}{F_{\text{осв1}}}. \quad (130)$$

К проектированию принимается необходимое количество рабочих осветителей.

Площадь зоны отделения осадка одного осветителя, м<sup>2</sup>,

$$F_{\text{отд1}} = \frac{F_{\text{отд}}}{N_p}. \quad (131)$$

При длине осадкоуплотнителя в чистоте ( $L_k$ , м) ориентировочная ширина осадкоуплотнителя, м,

$$B_{\text{о.у}} = \frac{F_{\text{отд1}}}{L_k}. \quad (132)$$

Вычисляют размеры осветителя в плане при принятой ширине коридора отделения и уплотнения осадка в осях и в чистоте при фактической рабочей площади осветителя, м<sup>2</sup>,

$$F_1 = F_{\text{осв1}}^{\phi} + F_{\text{отд1}}^{\phi}. \quad (133)$$

Фактическая суммарная площадь рабочих осветителей на станции, м<sup>2</sup>,

$$F_{\Phi} = F_1 + N_p \cdot \quad (134)$$

Для распределения воды по площади коридоров освещения предусматриваются дырчатые коллектора телескопической формы при расходе воды на один коллектор, дм<sup>3</sup>/с,

$$q_k = \frac{Q_{\text{час}}}{3,6 \cdot 2N_p}, \quad (135)$$

Коллектор сваривается из 2-3 стальных труб различных диаметров равной длины. При скорости выхода воды из отверстий дырчатых труб ( $v_o = 1,5-2,0$  м/с) суммарная площадь отверстий в коллекторе, м<sup>2</sup>,

$$\sum f_o = \frac{q_k}{v_o}. \quad (136)$$

При принятом диаметре отверстий ( $d_o$  – не менее 25 мм и площади одного отверстия  $f_o$ , м<sup>2</sup>) их требуемое количество, шт.,

$$n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}, \quad (137)$$

Отверстия располагаются с двух сторон коллектора в шахматном порядке, они направлены вниз под углом 45° к вертикали. При этом шаг оси отверстий, м,

$$l_o = \frac{2L_k}{n_o}, \quad (138)$$

где  $L_k$  – длина дырчатого коллектора принятая из условия, что он не доходит до торцевой стенки на 0,1–0,2 м.

Сбор осветленной воды в каждом коридоре освещения предусматривается двумя желобами с треугольными водосливами. Расход воды, приходящийся на один желоб, м<sup>3</sup>/с,

$$q_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{час}} K_{\text{р.в}}}{4N_p 3600}. \quad (139)$$

Ширина желоба, м,

$$b_{\text{ж}} = 0,9q_{\text{ж}}^{0,4}. \quad (140)$$

Вырезы высотой 40–60 мм размещаются в один ряд по внутренней стенке желоба при расстоянии между осями водосливов  $l_{\text{в}} = 100\text{--}150$  мм и угле наклона между кромками водослива  $60^\circ$ . При этом количество треугольных водосливов в желобе

$$n_{\text{в}} = \frac{L_{\text{к}}}{l_{\text{в}}}. \quad (141)$$

Желоба принимаются переменной глубины. Высоты от кромки до дна в начале и в конце желоба, м,

$$h_{\text{н}} = 0,75b_{\text{ж}}, \quad (142)$$

$$h_{\text{к}} = 1,25b_{\text{ж}}. \quad (143)$$

Скорость движения воды с осадком в осадкоприемных окнах  $v_{\text{ок}}$  принимается 10–15 мм/с. Тогда площадь окон в одном коридоре освещения,  $\text{м}^2$ ,

$$f_{\text{ок}} = \frac{Q_{\text{час}}(1 - K_{\text{р.в}})}{2N_{\text{р}}v_{\text{ок}}3,6}. \quad (144)$$

Приняв высоту окон  $h_{\text{ок}} = 0,2\text{--}0,3$  м, определяют общую их длину, м:

$$l_{\text{ок}} = \frac{f_{\text{ок}}}{h_{\text{ок}}}. \quad (145)$$

В каждой стенке, разделяющей осадкоуплотнитель и коридоры освещения, предусматривается по  $n_{\text{ок}}$  размером  $h_{\text{ок}} \times l_{\text{ок}}$ . При длине осветителя в осях  $L$ , м, шаг оси окон, м,

$$l_{\text{ок}} = \frac{L}{n_{\text{ок}}}. \quad (146)$$

Находят расстояние между окнами, м:

$$l_1 = l_o - l_{ок}. \quad (147)$$

Во избежание подсоса в осадкоуплотнитель осветленной воды над осадкоприемными окнами устанавливают козырьки. Сбор осветленной воды в осадкоуплотнителе предусмотрен дырчатой трубой с задвижкой для регулирования количества отсасываемой воды. Верх трубы располагается на 0,3 м ниже уровня воды в осветлителе.

При расходе воды,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ,

$$q_{сб} = \frac{Q_{\text{час}}(1 - K_{\text{р.в}})}{N_{\text{р}} 3,6}, \quad (148)$$

принимают трубу диаметром  $D$  и определяется скорость движения воды в конце трубы.

Скорость входа воды в отверстия трубы  $v_o$  принимается не менее 1,5 м/с. Тогда суммарная площадь отверстий ориентировочно составит,  $\text{м}^2$ ,

$$\sum f_o = \frac{q_{сб}}{v_o}. \quad (149)$$

При принятом диаметре отверстий  $d_o = 15-20$  мм и площади одного отверстия  $f_o$ ,  $\text{м}^2$ , требуемое их количество

$$n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}. \quad (150)$$

Отверстия располагаются в два ряда в шахматном порядке. Они направлены вверх под углом  $45^\circ$ . При этом шаг оси отверстий по одной стороне трубы,  $\text{м}$ ,

$$l_o = \frac{2L_{\text{к}}}{n_o}. \quad (151)$$

Определяют высоту осветлителя, считая от центра водораспределительного коллектора до верхних кромок сборных желобов,  $\text{м}$ :

$$h = \frac{B_{\text{к}} - 2b_{\text{ж}}}{2 \text{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (152)$$

где  $\alpha$  – центральный угол, образуемый прямыми, проведенными от оси водораспределительного коллектора к верхним точкам кромок желобов.

Находят высоту осветлителя от дна до кромки желобов, м:

$$h_{\text{раб}} = h + h_{\text{к}}, \quad (153)$$

где  $h_{\text{к}} = 0,2-0,3$  м – расстояние от центра водораспределительного коллектора до дна сооружения.

Общая высота осветлителя, м, с учетом высоты строительного борта  $h_{\text{стр}} = 0,3-0,5$  м

$$H_{\text{осв}} = h_{\text{раб}} + h_{\text{стр}}. \quad (154)$$

Приняв центральный угол наклона стенок коридора  $\beta$  и ширину коридора понижу  $a$ , определяют высоту пирамидальной части осветлителя, м:

$$h_{\text{пир}} = \frac{B_{\text{к}} - a}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}. \quad (155)$$

Высоту зоны освещения от слоя взвешенного осадка до поверхности воды принимают  $h_{3,0} = 2-2,5$  м. Тогда высота зоны взвешенного осадка выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные, м,

$$h_{\text{верт}} = h_{\text{раб}} - h_{3,0} - h_{\text{пир}}, \quad (156)$$

а общая высота зоны взвешенного осадка, м,

$$h_{\text{в.о}} = h_{\text{верт}} + \frac{h_{\text{пир}}}{2}. \quad (157)$$

Низ осадкоприемных окон располагается несколько выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные.

Определяют объем зоны накопления осадка осадкоуплотнителя, м,

$$W = L_{\text{к}} \left( B_{\text{о.у}} h_{\text{верт}} + \frac{B_{\text{о.у}} h_{\text{пир}}}{2} \right). \quad (158)$$

Количество осадка, поступающего в осадкоуплотнитель, кг/ч,

$$q = (C_B - M_{\text{осв}}) \frac{Q_{\text{час}}}{N_p} . \quad (159)$$

где  $C_B$  – средняя концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей в осветлитель, мг/дм<sup>3</sup>. Определяется по формуле (85);

$M_{\text{осв}}$  – мутность воды, выходящей из осветлителя (принимается от 8 до 15 г/м<sup>3</sup>).

Концентрация твердой фазы осадка  $\delta$  при принятом времени уплотнения для воды мутностью  $C_B$  определяется по таблице 23. В соответствии с примечанием к таблице концентрацию следует увеличить на 15 %, если при обработке воды предусматривается использование флокулянта совместно с коагулянтом.

За время между сбросами осадка  $T$ , ч, прирост твердой фазы осадка, кг,

$$G = qT . \quad (160)$$

Требуемый объем осадкоуплотнителя, м<sup>3</sup>, для его хранения в течение  $T$ , ч,

$$W_{\text{тр}} = \frac{G}{\delta} . \quad (161)$$

Для удаления осадка из осадкоуплотнителя предусматривается дырчатый трубопровод. Количество воды с осадком, м<sup>3</sup>/с, сбрасываемых из осадкоуплотнителя при чистке, определяется с учетом коэффициента разбавления  $K_p = 1,5$  и продолжительности сброса осадка  $t_c$ :

$$q_{\text{ос}} = \frac{W_{\text{тр}} K_p}{t_c 60} . \quad (162)$$

Принимают к монтажу трубопровод диаметром  $d$  и определяют скорость движения шлама при сбросе, м/с,

$$v_{\text{ос}} = \frac{q_{\text{ос}}}{0,785 d^2} . \quad (163)$$

Осадок поступает в трубы через отверстия  $d_0$  не менее 20 мм, площадь одного отверстия  $f_0$ , м<sup>2</sup>. Суммарная площадь отверстий в трубе, м<sup>2</sup>, при

скорости движения осадка в отверстиях ( $v_o > 3$  м/с)

$$\sum f_o = \frac{q_{oc}}{v_o}. \quad (164)$$

Требуемое количество отверстий

$$n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}. \quad (165)$$

При расположении отверстий в один ряд сверху трубы шаг оси, м,

$$l_o = \frac{L_k}{n_o}. \quad (166)$$

Выпуск шлама из осадкоуплотнителей производится по уровню осадка, контролируемому многоточечным регулирующим устройством типа СУ-102, устанавливаемым на щите оператора. Оператор получает информацию о достижении предельного уровня осадка в осветлителях посредством светозвуковой сигнализации. Для визуального наблюдения и контроля за процессом сброса осадка в сточной трубе предусматривается патрубков, выведенный в открытый лоток.

Спуск воды из рабочих коридоров осветлителей обеспечивается через распределяющие исходную воду трубы, присоединенные к коммуникациям сброса осадка.

## **6.9 Интенсификация работы отстойников и осветлителей**

### **6.9.1 Контактные камеры хлопьеобразования**

Контактные камеры хлопьеобразования следует применять в экспериментальном порядке в технологических схемах осветления мало- и средне-мутных цветных и высокоцветных вод.

Область применения контактных камер ограничивается мутностью исходной воды до  $150$  мг/дм<sup>3</sup>, цветностью до  $250$  град. При более высокой мутности и цветности исходной воды применение контактных камер должно обосновываться соответствующими технологическими изысканиями.

Работа контактных камер хлопьеобразования основана на принципе контактной коагуляции, обусловленной способностью мелких частиц взвеси и микрохлопьев коагулянта после взаимной нейтрализации

электрокинетических зарядов прилипать к поверхности более крупных частиц фильтрующей загрузки.

Адгезия частиц загрязнений и продуктов гидролиза коагулянта происходит до тех пор, пока в результате накопления осадка в порах зернистой контактной среды скорость движения воды не достигнет величины, при которой начинаются отрыв хлопьев осадка и вынос их в отстойники. В дальнейшем контактная камера работает в режиме устойчивого равновесия: масса поступающей в камеру взвеси и продуктов гидролиза коагулянта равна массе твердой фазы выносимого водой из камеры осадка. Образование хлопьев осадка в контактных камерах происходит быстрее, чем в камерах со свободным объемом воды, особенно при маломутных цветных водах и низкой температуре воды. Осадок получается более плотным.

Агломерация образующихся в процессе гидролиза коагулянта хлопьев происходит постепенно в течение 6–30 мин и более.

Существенное влияние на процесс хлопьеобразования оказывают интенсивность и продолжительность перемешивания обрабатываемой воды в камерах хлопьеобразования. При этом основополагающей является интенсивность перемешивания, а влияние продолжительности процесса проявляется в меньшей степени. Использование контактных камер хлопьеобразования позволяет увеличить в 3–4 раза нагрузку на единицу объема камеры, снизить расход коагулянта на 20–25 %, уменьшить продолжительность отстаивания (рисунок 36).

При осветлении воды в горизонтальных отстойниках контактные камеры располагают в начале отстойников (рисунок 37). Над камерами хлопьеобразования необходимо предусматривать павильон шириной не более 6 м. Отвод воды из камеры хлопьеобразования в горизонтальный отстойник предусматривают над стенкой (затопленный водослив), отделяющей камеру от отстойника, при скорости движения воды не более 0,05 м/с; за стенкой устанавливается подвесная перегородка, погруженная на 1/4 высоты отстойника и отклоняющая поток воды книзу. Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования следует предусматривать с помощью перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз под углом 45°. Расстояние между осями перфорированных труб принимают не более 2 м. Распределительные трубы размещаются непосредственно под нижней решеткой, расположенной на расстоянии 1–2 м от верхней решетки.

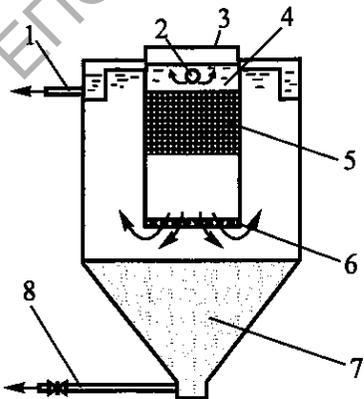


Рисунок 36 – Вертикальный отстойник с

контактной камерой хлопьеобразования:

- 1 – отвод отстоянной воды; 2 – подача исходной воды;  
3 – контактная камера хлопьеобразования; 4 – верхняя решетка; 5 – плавающая загрузка;  
нижняя решетка;  
7 – зона накопления и уплотнения осадка; 8 – удаление осадка

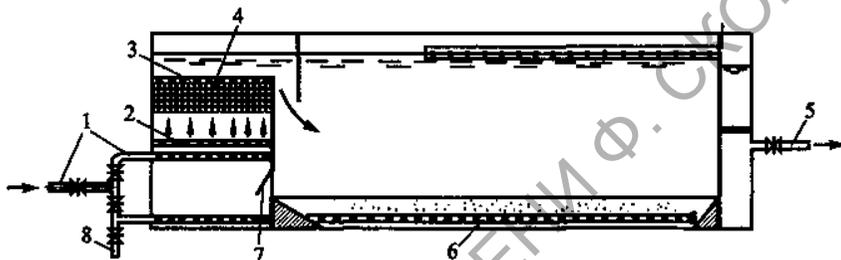


Рисунок 37 – Горизонтальный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования:  
1 – подача исходной воды; 2 – нижняя решетка; 3 – верхняя решетка; 4 – контактная зернистая загрузка; 5 – отвод осветленной воды; 6 – система удаления осадка из отстойника; 7 – люк для ревизии трубопроводов; 8 – система удаления осадка из камеры

Днище камеры следует выполнять с углом наклона граней  $45^\circ$ . В нижней части сходящихся граней располагаются трубы для удаления осадка.

Для осуществления ревизии дна камеры и трубопроводов подачи воды и отвода осадка в нижней части затопленного водослива, отделяющего камеру от отстойника, следует предусмотреть люк.

Контактные камеры располагают по всей площади рабочих коридоров осветлителей в их нижней конической части (рисунок 38).

В качестве зернистой контактной загрузки для данных камер хлопьеобразования рекомендуется использовать полимерные плавающие материалы (пенопласт полистирольный марок ПСБ и ПСВ), которые разрешены для контакта с питьевой водой, или другие аналогичные материалы. Крупность зерен загрузки – 30–40 мм, высота слоя зернистой загрузки должна составлять 0,3–0,4 м (большие значения – для вод малой мутности).

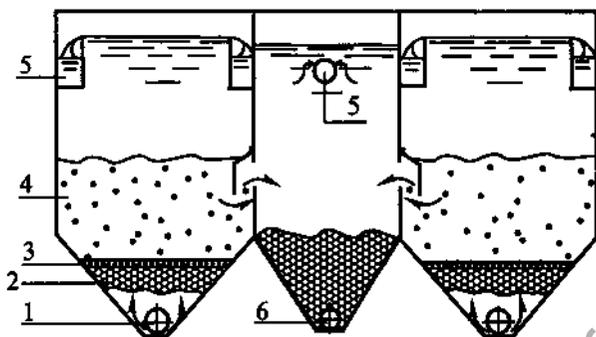


Рисунок 38 – Осветлитель с контактной камерой хлопьеобразования:

- 1 – подача исходной воды; 2 – контактная камера хлопьеобразования; 3 – решетка; 4 – зона взвешенного осадка; 5 – отвод осветленной воды; 6 – удаление осадка

Для предотвращения всплытия гранул пенопласта в конической части рабочих камер осветлителей устанавливают удерживающие решетки на расстоянии 0,9–1,0 м над перфорированной трубой, подающей воду в осветлитель. Удерживающие решетки выполняются с прозорами на 10 мм меньше минимальных размеров зерен загрузки. В решетке должен быть предусмотрен люк, через который производят загрузку и выгрузку пенополистирола. При наличии контактных камер хлопьеобразования скорость восходящего потока воды в зоне осветления над слоем взвешенного осадка принимают на 20–30 % больше.

В осветлителях с контактными камерами хлопьеобразования необходимо обеспечить возможность спуска воды из рабочих коридоров осветлителей через распределительные дырчатые трубы, подсоединив их к коммуникациям сброса осадка.

В схемах по очистке природных вод с коридорными осветлителями при маломутной и цветной воде интенсивность процесса хлопьеобразования может быть повышена также использованием плотной контактной загрузки. В этом случае целесообразно нижнюю коническую часть рабочих коридоров осветлителей загружать гравием или щебнем с крупностью зерен 20–50 мм на высоту 60–70 см. В гравийном слое благодаря тесному контакту воды с хлопьями процесс хлопьеобразования протекает с образованием плотных и крупных хлопьев, обеспечивающих хороший эффект осветления воды. Механическая прочность и химическая стойкость гравия или щебня должны отвечать требованиям, предъявляемым к фильтрующей загрузке. Применение гравийных камер хлопьеобразования в осветлителях со слоем взвешенного осадка, благодаря совершенствованию гидравлической характеристики сооружений и улучшению процесса формирования хлопьевидной взвеси, позволяет увеличить их производительность на 15–20

% и сократить при этом расход коагулянта на 15–20 %.

С этой же целью в осветлители с вертикальными осадкоуплотнителями при обработке маломутных цветных вод вносят специальную контактную массу из зерен кварцевого песка или дробленого керамзита крупностью 0,1–0,15 мм в количестве 10–12 кг на 1 м<sup>2</sup> площади взвешенного слоя. В качестве механических примесей может также использоваться глина. Во время работы зерна взвешенной контактной массы являются центрами коагуляции примесей воды, способствуя интенсификации ее обработки и позволяя увеличить производительность аппарата на 15–20 %. Однако этот метод, несмотря на его кажущуюся простоту, трудно осуществим, так как требует заготовки и дозирования взвеси с определенными размерами частиц – такими же, как из естественных примесей.

В качестве сорбента для добавки к воде можно использовать активного порошкообразного угля, обеспечивающего более эффективную, с меньшим удельным расходом угля, сорбцию в динамических условиях. Использование активного угля в осветлителе обеспечивает удаление из воды синтетических моющих средств, пестицидов, канцерогенных веществ, позволяет применить предварительную обработку воды повышенными дозами хлора, который затем будет удален из воды углем в осветлителе.

### **6.9.2 Тонкослойные отстойники**

Отстойные сооружения, оборудованные тонкослойными элементами, предназначены для осветления природных поверхностных вод малой и средней мутности и цветности на водоочистных станциях систем хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. В сооружениях тонкослойного осветления осаждение взвеси происходит в наклонных элементах малой высоты. При этом обеспечиваются быстрое выделение взвеси и ее сползание по наклонной плоскости элементов в зоны хлопьеобразования и осадкоуплотнения. Тонкослойные отстойные сооружения можно применять как при реконструкции действующих отстойников с целью интенсификации их работы, так и для вновь проектируемых водоочистных станций.

Тонкослойные блоки рекомендуют устанавливать в отстойниках с противоточным движением воды и осадка.

Требования к качеству и методам обработки воды, поступающей на сооружения с тонкослойными элементами, аналогичны требованиям для других типов отстойных сооружений.

Схема тонкослойного вертикального отстойника представлена на рисунке 39. Исходная вода, обработанная реагентами, поступает в расположенную в центральной части отстойника камеру хлопьеобразования и затем, после ее прохождения, вместе с образующимися хлопьями проходит последовательно распределительную зону и тонкослойные наклонные

элементы. Осветленная вода через сборные желоба отводится из сооружения. Осадок из отстойника сбрасывается через систему удаления осадка.

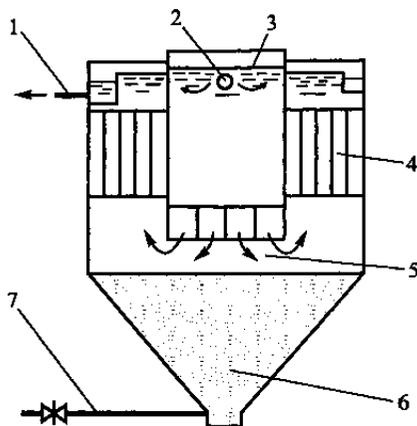


Рисунок 39 – Вертикальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками:

1 – отвод отстоянной воды; 2 – подача исходной воды; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – наклонные тонкослойные блоки; 5 – зона распределения воды; 6 – зона накопления осадка; 7 – удаление осадка

В тонкослойном горизонтальном отстойнике (рисунок 40) обработанная реагентами исходная вода поступает во встроенную камеру хлопьеобразования (любого из рекомендуемых действующими нормами типов). Из камеры поток воды, двигаясь горизонтально под блоками и поднимаясь снизу вверх, проходит тонкослойные элементы и поступает в расположенную над ними сборную систему и канал. Накапливающийся в отстойнике осадок периодически сбрасывается через систему удаления осадка.

Тонкослойные элементы и блоки могут выполняться из мягких или полужестких полимерных пленок, соединенных в сотовую конструкцию, или из жестких листовых материалов в виде отдельных полок (рисунок 41).

Размеры в плане отдельных блоков для удобства их монтажа и эксплуатации принимают  $1 \times 1 - 1,5 \times 1,5$  м с учетом фактических размеров сооружения. Высоту поперечного сечения тонкослойного ячеистого элемента рекомендуется принимать равной 0,03–0,05 м. Ячейки могут быть любой формы, исключаяющей накопления в них осадка.

Рекомендуемый угол наклона элементов –  $50-60^\circ$  (меньшие значения – для более мутных вод, большие – для маломутных цветных). Длину тонкослойных элементов определяют специальным расчетом, она должна находиться в пределах 0,9–1,5 м.

Отдельные блоки в отстойниках и осветлителях следует устанавливать с помощью специальных несущих конструкций, расположенных под или над ними, либо их креплением к элементам сборной системы (желобам, лоткам,

трубам) и промежуточным стенкам сооружений. При этом могут быть использованы стальные или полимерные трубы, дерево, арматурная проволока, профилированные конструкции и т. д.

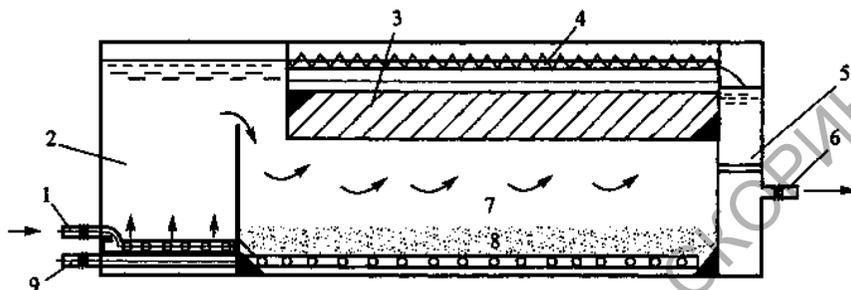


Рисунок 40 – Горизонтальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками:

- 1 – подача исходной воды; 2 – камера хлопьеобразования; 3 – тонкослойные блоки;
- 4 – сборные желоба; 5 – канал сбора осветленной воды; 6 – отвод осветленной воды;
- 7 – зона распределения воды; 8 – зона накопления осадка; 9 – удаление осадка

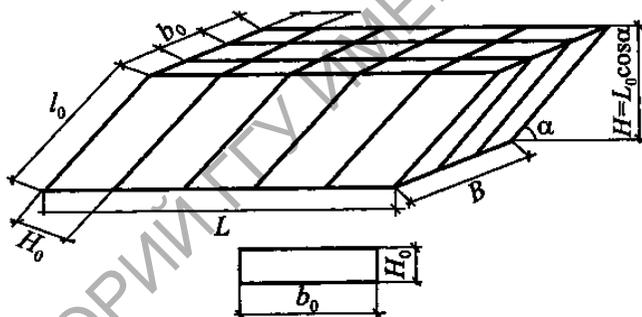


Рисунок 41 – Конструктивные параметры тонкослойных элементов в блоке:

- $l_0$  – длина тонкослойного элемента;  $b_0$  – ширина тонкослойного элемента;  $H_0$  – высота тонкослойного элемента;  $H$  – высота тонкослойного сотоблока;  $L$  – длина тонкослойного сотоблока;  $B$  – ширина тонкослойного сотоблока

Герметичность зазоров между отдельными блоками с внутренними стенками сооружений обеспечивается уплотнительными прокладками.

Сбор осветленной воды из тонкослойных сооружений осуществляют желобами с затопленными отверстиями или открытыми водосливами, например, треугольного профиля, расположенными на расстоянии не более 2 м один от другого.

### 6.9.3 Осветлители, оборудованные тонкослойными элементами

Использование метода тонкослойного осаждения позволяет эффективно осветлять воду при скорости потока, достигающей 1,6–2,0 мм/с, что в 2–2,5 раза выше, чем в традиционных осветлителях со слоем взвешенного осадка. Эффективность тонкослойного осаждения определяется не только процессами, происходящими в тонкослойных элементах, но и такими факторами, как качество подготовки хлопьев, поступающих на осаждение, равномерность сбора и распределения воды, надежность системы удаления осадка.

В сооружениях тонкослойного осветления осаждение взвеси происходит в наклонных элементах малой высоты.

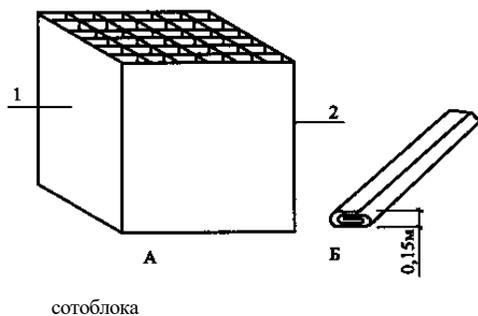
Тонкослойные элементы и блоки могут выполняться из мягких или полужестких листовых материалов в виде отдельных полок. Размеры в плане отдельных блоков для удобства их монтажа и эксплуатации принимают  $1 \times 1 - 1,5 \times 1,5$  м с учетом фактических размеров сооружения. Высоту поперечного сечения тонкослойного ячеистого элемента рекомендуется принимать равной 0,03–0,05 м. Ячейки могут быть любой формы, исключаяющей накопление в них осадка.

В настоящее время предлагаются к использованию сотоблоки из полиэтиленовых пленок и из рулонного материала ПВХ, которые характеризуются требуемой прочностью и обладают необходимой физико-химической и бактериологической стойкостью и долговечностью.

Научно-исследовательским институтом коммунального водоснабжения и очистки воды (НИИ КВОВ) разработана технология изготовления сотовой конструкции из полиэтиленовой пленки, что позволяет осуществлять выпуск сотоблоков любого размера в зависимости от параметров отстойного сооружения. При изготовлении сотоблоков полиэтиленовая пленка сваривается в такой последовательности, чтобы обеспечить наибольшую пространственную устойчивость и возможность растягивать ее на рамы только в четырех крайних ячейках (рисунок 42). Конструкция сотоблоков обеспечивает простоту при монтажных работах, надежна и долговечна при эксплуатации.

Рисунок 42 –  
Тонкослойный сотоблок из  
полиэтиленовой пленки:

А – общий вид; Б – в  
сложенном виде при  
транспортировке; 1 –  
тонкослойный блок из  
полиэтиленовой пленки; 2 –  
стержни для растяжения



сотоблока

ГУП «Институт МосводоканалНИИпроект» разработал тонкослойный модуль сотового типа с самонесущей способностью (рисунок 43).

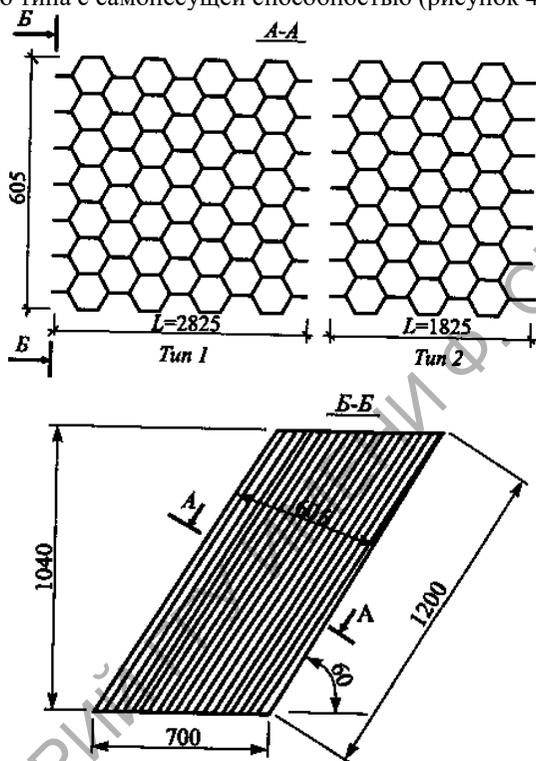


Рисунок 43 – Тонкослойные модули сотового типа из рулонного материала ПВХ

Из рулонного материала ПВХ марки П-74 толщиной 0,4–0,5 мм изготавливаются профильные листы, из которых непосредственно на станции производят сотоблоки с помощью контактной сварки. Для этой сварки разработан и изготовлен специальный аппарат.

Схема осветлителя с тонкослойными элементами представлена на рисунке 44. Вода, обработанная реагентами, поступает в зоны предварительного хлопьеобразования (взвешенного осадка) и далее через распределительную зону и зону сползающего осадка поступает в тонкослойные блоки, затем в сборные устройства и отводится из сооружения. Осадок из зоны его накопления удаляется через

перфорированные трубы. Рекомендуемый угол наклона элементов – 50–60 (меньшие значения – для мутных вод, большие – для маломутных цветных). Длину тонкослойных элементов определяют специальным расчетом, она должна находиться в пределах 0,9–1,5 м.

Отдельные блоки в осветлителях следует устанавливать с помощью специальных несущих конструкций, расположенных под или над ними, либо их креплением к элементам сборной системы (желобам, трубам) и промежуточным стенкам сооружений. В качестве несущих конструкций могут быть использованы стальные или полимерные трубы, дерево, арматурная проволока, профилированные конструкции и т. д. Герметичность зазоров между отдельными блоками и внутренними стенками сооружений обеспечивается уплотнительными прокладками. Сбор осветленной воды из тонкослойных сооружений осуществляют желобами с затопленными отверстиями или открытыми водосливами, например треугольного профиля, расположенными на расстоянии не более 2 м один из другого.

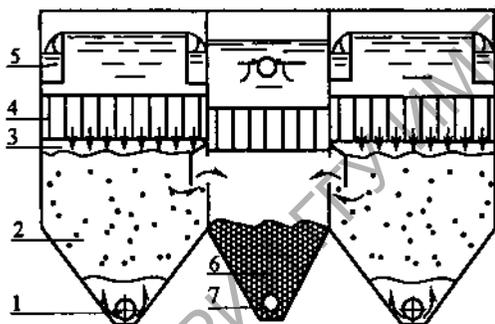


Рисунок 44 –  
Осветлитель,  
оборудованный  
тонкослойными блоками:  
1 – подача исходной воды;  
2 – зона взвешенного  
осадка; 3 – зона сплывания  
осадка; 4 – тонкослойные  
блоки; 5 – отвод осветленной  
воды; 6 – зона накопления  
осадка; 7 – удаление осадка

Расчет технологических и конструктивных параметров сооружений, а также отдельных тонкослойных элементов следует производить по следующим формулам:

$$l_o = K_2 H_o \left( \frac{v_H K_1}{u_o \beta K_{ar}} - 1 \right), \quad (167)$$

$$K_1 = \frac{1}{K_{ст} K_{ов} K_k}, \quad (168)$$

$$K_2 = \frac{\varphi K_\phi K_{ct}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}, \quad (169)$$

где  $l_0$  – длина тонкослойного элемента, м;

$H_0$  – высота тонкослойного элемента, принимаемая равной 0,03–0,05 м;

$v_H$  – удельная нагрузка или производительность сооружения в расчете на площадь зеркала воды  $\text{м}^3/(\text{М}^2 \text{ч})$  или м/ч;

$u_0$  – расчетная скорость осаждения взвеси, м/ч;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий стесненное осаждение взвеси под тонкослойными элементами;

$K_{ag}$  – коэффициент агломерации, учитывающий влияние осадка, выделяющегося из тонкослойных элементов, на интенсификацию хлопьеобразования;

$K_{ct}$  – коэффициент, учитывающий стеснение сечения потока в тонкослойном элементе сползающим осадком, принимается в среднем 0,7–0,8 (большие значения – для мутных вод, меньшие – для маломутных цветных);

$K_{ov}$  – коэффициент, учитывающий гидравлическое совершенство тонкослойного сооружения и степень его объемного использования, принимаемый 0,6–0,75;

$K_k$  – конструктивный коэффициент, равный отношению фактической открытой для движения воды площади тонкослойных элементов к общей площади зеркала воды отстойного сооружения;

$\varphi$  – коэффициент, учитывающий влияние гидродинамических условий потока в тонкослойных элементах, определяется по данным таблицы 25, в которой  $b$  – ширина,  $H_0$  – высота тонкослойного элемента;

$K_\phi$  – коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения тонкослойных элементов, принимаемый: для сечений прямоугольной формы – 1,0; круглой – 0,785; треугольной – 0,5; шестиугольной – 0,65–0,75; при использовании труб и межтрубного пространства – 0,5;

$\alpha$  – угол наклона тонкослойных элементов к горизонту, град.

Таблица 25 – Определение коэффициента  $\varphi$

Характеристика	Значение $b_0/H_0$			
	1,0–2,5	2,5–5,0	5,0–10,0	> 10,0
Значение $\varphi$	1,25	1,15	1,05	< 1,0

Удельные нагрузки на тонкослойные сооружения, отнесенные к площади,

занятой тонкослойными элементами, с учетом показателей качества воды могут быть приняты: для маломутных и цветных вод, обработанных коагулянтом, –  $3\text{--}3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , средней мутности –  $3,6\text{--}4, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , для мутных вод –  $4,6\text{--}5,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Расчетная скорость осаждения взвеси должна приниматься в соответствии с опытом эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях. При отсутствии такого опыта следует производить технологическое моделирование процессов хлопьеобразования и тонкослойного осаждения с целью определения требуемого значения  $u_0$ . Иначе значение  $u_0$  определяют согласно таблице 22.

Значение произведения  $\beta K_{ar}$  следует принимать равным  $1,15\text{--}1,3$  (большие значения – для тонкослойного осветлителя, меньшие – для тонкослойного вертикального отстойника).

Значение коэффициента  $K_k$  определяют по фактическим данным с учетом толщины материала для тонкослойных элементов. Предварительно рекомендуется принимать его равным  $0,70\text{--}0,95$  (большие значения – для тонких пленочных материалов).

Полученные по расчету размеры тонкослойных элементов и тонкослойных сооружений в целом, а также значения удельных нагрузок надлежит проверить и скорректировать с учетом минимального времени между выпусками осадка  $6\text{--}8$  ч. При этом высоту защитной зоны для вертикального отстойника следует принимать равной  $1,5$ , для горизонтального –  $1$  м.

Высоту зоны сбора осветленной воды рекомендуется принимать не менее  $0,4\text{--}0,5$  м.

#### **6.9.4 Осветлители-рециркуляторы**

Для интенсификации процессов очистки воды в осветлителях со взвешенным осадком может быть использован метод рециркуляции осадка, предложенный Санкт-Петербургской Академией коммунального хозяйства.

Работа традиционных сооружений первой ступени очистки (отстойников, осветлителей со взвешенным осадком) при очистке маломутных вод со средней или высокой цветностью недостаточно надежна и эффективна. В первую очередь, это обусловлено вялым протеканием процесса коагуляции из-за невысокой концентрации твердой фазы в исходной воде.

Наиболее рациональный путь повышения концентрации твердой фазы – использование рециркуляции ранее образовавшегося в сооружениях осадка, который при введении в очищаемую воду играет роль дополнительных центров хлопьеобразования. Эти центры смещают часть процесса коагуляции от пространственного структурообразования к автокаталитической коагуляции, сорбции и адгезии. В результате растут прочность и плотность

вновь образующихся хлопьев и, соответственно, их гидравлическая крупность.

Данные предпосылки легли в основу нового метода рециркуляции осадка, в котором для снижения степени диспергирования хлопьев рециркуляцию осуществляют по «внутреннему контуру», т. е. без вывода основной части хлопьев из сооружения. Этот метод реализован в разработанных конструкциях осветлителей-рециркуляторов (рисунок 45).

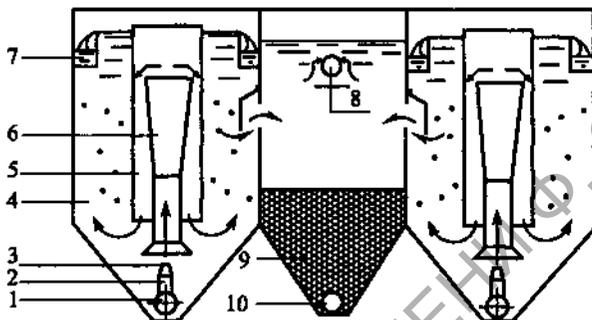


Рисунок 45 – Осветлитель-рециркулятор:

- 1 – распределительная труба; 2 – патрубок; 3 – сопло; 4 – рабочая камера со слоем взвешенного осадка; 5 – камера хлопьеобразования с направляющим аппаратом; 6 – смеситель; 7 – лоток; 8 – отвод осветленной воды из осадкоуплотнителя; 9 – осадкоуплотнитель; 10 – трубы для выпуска уплотненного осадка

Подача исходной воды в секции (коридоры) осветления производится через эжекторы рециркуляторов. Наличие в осветлителях рециркуляторов значительно повышает надежность работы сооружений, снижает объемы сбрасываемого осадка и создает резерв по производительности (до 30–60 %) и качеству осветленной воды. За счет рециркуляции осадка одновременно существенно повышается барьерная роль сооружений первой ступени очистки в отношении планктона, составляя (в зависимости от его вида) 90–100 %. Кроме того, рециркуляция осадка позволяет без ухудшения качества очистки воды утилизировать промывные воды фильтровальных сооружений путем их равномерного перекачивания из резервуара-усреднителя в головной узел водоочистной станции.

### 6.10 Очистка природных вод фильтрованием

Фильтры предназначены для осветления воды. Они пропускают воду через слой зернистого фильтрующего материала. В зависимости от качества и количества обрабатываемой природной воды, требований к степени ее

очистки, технологических и технико-экономических показателей применяют различные типы фильтров.

*Скорые безнапорные фильтры* применяют в двухступенчатых схемах очистки воды с предварительным осветлением (в отстойниках, осветлителях, контактных префильтрах) и в одноступенчатых схемах очистки воды без предварительного осветления с реагентной обработкой для получения воды питьевого качества.

*Скорые напорные фильтры* наиболее широко применяют в одноступенчатых схемах очистки воды без предварительного осветления с реагентной обработкой и без нее для получения воды, используемой на технические цели (реже для питьевых целей).

*Медленные фильтры* используют при безреагентном осветлении и частичном обесцвечивании воды без предварительного осветления или с предварительным осветлением (в отстойниках, префильтрах) для получения воды питьевого качества.

*Контактные осветлители* применяют в одноступенчатых схемах очистки воды с реагентной обработкой для получения воды питьевого качества.

*Крупнозернистые (грубозернистые) фильтры* применяют для частичного осветления исходной воды с реагентной обработкой и без нее для получения воды, используемой на технические нужды.

*Контактные префильтры* предназначены для предварительной очистки воды в схеме двухступенчатого фильтрования перед ее окончательной очисткой на скорых безнапорных фильтрах с предварительной обработкой воды реагентами.

#### **6.10.1 Фильтрующие установки и аппараты**

Сущность процесса фильтрования заключается в пропуске жидкости, содержащей примеси, через фильтрующий материал, проницаемый для жидкости и непроницаемый для твердых частиц. При этом процесс сопровождается значительными затратами энергии, допускать которые в технике водоочистки можно лишь при обработке небольших количеств воды. Это определяет место фильтровальных сооружений в технологической схеме. В большинстве случаев фильтрование является заключительным этапом обработки воды и производится после ее предварительного осветления в отстойниках, флотаторах или осветлителях. Водоочистные сооружения, на которых осуществляют процесс фильтрования, называют *фильтрами*. Фильтры по виду фильтрующей среды делятся на *тканевые* или *сетчатые*, *каркасные* или *намывные* (диатомитовые), *зернистые* (песчаные, керамзитовые и т. п.). Для водоснабжения плавательных бассейнов и других небольших водопотребителей широко применяют каркасные или диатомитовые фильтры.

Из вышеперечисленных трех групп фильтров наиболее значительной является последняя. Фильтры этой группы в технике водоснабжения применяют наиболее широко. Фильтры с зернистой загрузкой можно классифицировать по ряду основных признаков: 1) скорости фильтрования: *медленные* (0,1–0,3 м/ч), *скорые* (5–12 м/ч) и *сверхскоростные* (36–100 м/ч); 2) давлению, под которым они работают: *открытые* (или безнапорные), *напорные*; 3) направлению фильтрующего потока: *однопоточные* (обычные скорые фильтры), *двухпоточные* (фильтры АКХ, ДДФ), *многопоточные*; 4) крупности фильтрующего материала: *мелкозернистые*, *среднезернистые*, *крупнозернистые*; 5) числу фильтрующих слоев: *однослойные*, *двухслойные*, *многослойные*.

### 6.10.2 Расчет фильтрующих установок и аппаратов

**Скорые фильтры.** Задача выбора типа фильтра неоднозначна. Для ее решения требуется не только хорошо знать устройство одно- и двухслойных фильтров, их преимущества и недостатки, но и возможные варианты исполнения этих типов фильтров.

При выполнении курсового и дипломного проектов допускается принимать тип фильтра и конструкцию фильтрующей загрузки по таблице 27. После выбора типа фильтров производится расчет всех его элементов. Основными исходными данными при проектировании фильтров являются: полезная производительность станции, продолжительность ее работы в течение суток, расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме работы.

**Скорые безнапорные фильтры.** Фильтры и их коммуникации должны быть рассчитаны на работу при нормальном и форсированном (часть фильтров находится в ремонте) режимах. На станциях с количеством фильтров до 20 следует предусматривать возможность выключения на ремонт одного фильтра, при большем количестве – двух.

Для загрузки фильтров надлежит использовать кварцевый песок, дробленые антрацит и керамзит, а также другие материалы. Все фильтрующие материалы должны обеспечивать технологический процесс и обладать требуемой химической стойкостью и механической прочностью.

Скорости фильтрования при нормальном и форсированном режимах при отсутствии данных технологических изысканий надлежит принимать согласно таблице 27 с учетом обеспечения продолжительности работы фильтров между промывками, не менее: при нормальном режиме – 8–12 ч, при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтров – 6 ч.

Общую площадь, м<sup>2</sup>, следует определять по формуле

$$F = \frac{Q_{\text{сут}}}{T_{\text{ст}} v_{\text{р.н}} - 3,6 n_{\text{пр}} w_{\text{пр}} t_{\text{пр}} - n_{\text{пр}} \tau_{\text{пр}} v_{\text{р.н}}}, \quad (170)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – полезная производительность станции, м<sup>3</sup>/сут;

$T_{\text{ст}}$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч;

$v_{\text{р.н}}$  – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч, принимаемая по таблице 27, с учетом расчетов по формуле (172);

$n_{\text{пр}}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации;

$w_{\text{пр}}$  – интенсивность промывки, дм<sup>3</sup>/с·м<sup>2</sup>;

$t_{\text{пр}}$  – продолжительность промывки, ч;

$\tau_{\text{пр}}$  – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимаемое для фильтров, промываемых водой, – 0,33, водой и воздухом – 0,5 ч.

Промывка длится 7–8 мин.

При водовоздушной промывке величина  $q_{\text{пр}}$  определяется как сумма соответствующих величин на отдельных этапах промывки.

Количество фильтров на станциях производительностью более 1600 м<sup>3</sup>/сут должно быть не менее четырех. При производительности станции более 8–10 тыс. м<sup>3</sup>/сут количество фильтров следует определять с округлением до ближайших целых чисел (четных или нечетных, в зависимости от компоновки фильтров) по формуле

$$N_{\text{ф}} = \sqrt{F}/2. \quad (171)$$

При этом должно обеспечиваться соотношение

$$v_{\text{р.ф}} = v_{\text{р.н}} \frac{N}{N - N_1}, \quad (172)$$

где  $v_{\text{р.ф}}$  – скорость фильтрования при форсированном режиме, которая должна быть не более, указанной в таблице 27;

$N_1$  – число фильтров, находящихся в ремонте.

Площадь одного фильтра надлежит принимать не более 100–120 м<sup>2</sup>. Необходимо определить площадь одного фильтра  $f = F/N$ .

В процессе конструирования выполняется эскиз (рисунок 46) принятого в проекте фильтра в плане и разрезах, на которых должно быть указано взаимное расположение всех элементов.

Корпус фильтра представляет в плане железобетонный резервуар прямоугольной формы (реже – круглой). При определении размеров

фильтров в плане по найденной площади рекомендуется ориентироваться на основные типоразмеры, которые разработаны ведущими проектными организациями ( $B \times L$ ): 3,5 × 5; 5 × 5,5; 6 × 6; 6 × 8,0; 6 × 9; 6 × 12; 12 × 12 м (размеры по осям стен).

В фильтрах площадью до 40 м<sup>2</sup> предусматривается боковой прямоугольный канал (карман) с наружной стороны вдоль длинной стенки, предназначенный для подвода воды на фильтр и сбора грязной промывной воды. Фильтры (площадью более 40 м<sup>2</sup>) устраивают с центральным каналом, делящим каждый фильтр на две равные части. Центральный канал делится горизонтальной перегородкой на два канала: верхний – для подачи воды на фильтрование и отвода промывной воды, нижний – для отвода фильтрованной воды и подачи воды на промывку. Ширина бокового или центрального канала  $A$  должна быть не менее 0,7 м в чистоте. Площади каналов не входят в площадь фильтров. В корпусе размещаются все элементы фильтра, за исключением технологических трубопроводов и арматуры.

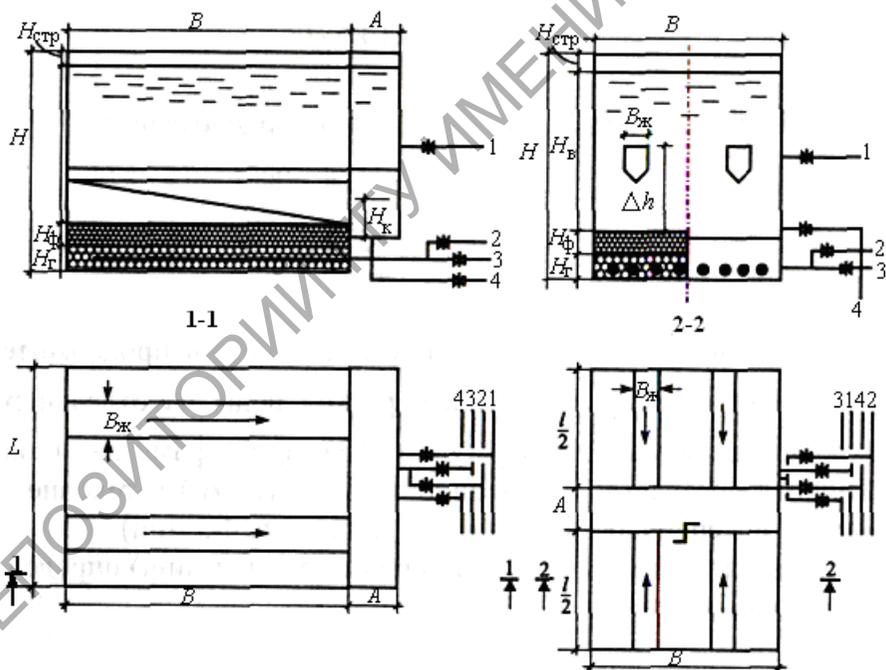


Рисунок 46 – Принципиальная схема скорого фильтра:

а – с боковым каналом; б – с центральным каналом; 1 – подача исходной воды; 2 – отвод фильтрата; 3 – подача промывной воды; 4 – отвод промывной воды

Дренажная система является самым важным элементом фильтра. Она обеспечивает равномерное распределение по всей площади фильтра промывной воды и равномерный сбор, а также отвод профильтрованной воды. В скорых фильтрах равномерность распределения промывной воды достигается дренажными системами большого сопротивления. Дренажная система выполняется в виде центрального коллектора для фильтров площадью до 40 м<sup>2</sup> или в виде канала для фильтров площадью более 40 м<sup>2</sup>, к ним перпендикулярно подсоединяются распределительные трубы, которые имеют круглую или щелевую перфорацию и размещаются над дном фильтра.

В тех случаях, когда предусматривается водовоздушная промывка фильтрующего материала, устраивают отдельные трубчатые распределительные системы для воды и воздуха или дренажную систему со специальными колпачками, имеющими щелевые вертикальные отверстия. Колпачки закрепляют в промежуточном перекрытии над дном фильтра. При осветлении высокомутных вод, обезжелезивании и умягчении воды при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применение распределительной системы над поверхностью загрузки фильтров в дополнение к основной.

Загрузка из фильтрующего материала предназначена для задержания взвешенных и коллоидных частиц из воды, проходящей через нее. Для загрузки фильтров применяют кварцевый песок с размером зерен от 0,5 до 2 мм и высотой слоя от 0,7 до 2 м, дробленый керамзит или антрацит с размером зерен 0,6–1,8 мм. Фильтрующий материал укладывают на распределительную систему или на поддерживающие гравийные слои различной крупности в случае применения трубчатой распределительной системы с круглой перфорацией.

Система для сбора и отвода промывной воды представляет собой железобетонные или стальные желоба полукруглого или пятиугольного сечения, располагаемые над фильтрующей загрузкой на определенной высоте и соединенные с верхним отсеком центрального канала или с боковым каналом фильтра. При водовоздушной промывке применяется система низкого горизонтального отвода промывной воды с помощью пескоулавливающего желоба, образованного двумя наклонными стенками – отбойной и водосливной, через которую вода отводится в сборный канал фильтра.

Технологические трубопроводы и арматура предназначены для обеспечения нормальной эксплуатации фильтра. Каждый фильтр оборудуется трубопроводами, назначение и место примыкания которых к фильтру указано в таблице 26.

Таблица 26 – Назначение и место примыкания трубопроводов

Назначение трубопровода	Место примыкания трубопровода к фильтру
Подача воды на фильтрование	К наружному боковому или торцу центрального канала выше трубопровода, отводящего промывную воду
Отвод фильтрованной воды	К коллектору дренажа или торцу центрального канала в нижней части
Подача воды на промывку	То же
Отвод промывной воды	К наружному боковому каналу или к торцу центрального канала ниже трубопровода, подводящего воду на фильтрование
Сброс первого фильтрата (для контактных осветлителей)	К трубопроводу, отводящему промывную воду
Полное опорожнение фильтра	К стенке у дна фильтра или у дна отделения

На всех трубопроводах устанавливаются задвижки или поворотные затворы в местах, удобных для монтажа и обслуживания, исключая их расположение друг над другом.

*Компоновка фильтров* на станции может быть *одно-* или *двухрядной*. При однорядной компоновке фильтры располагают напротив торцевой стены отстойников или осветлителей, таким образом, что между ними образуется достаточных размеров галерея для размещения магистральных трубопроводов. При двухрядной компоновке галерея образуется между рядами фильтров. Фильтры площадью до 40 м<sup>2</sup> располагают в ряд, боковыми карманами, обращенными внутрь галереи; фильтры площадью более 40 м<sup>2</sup> располагают так, чтобы торцы центральных каналов были обращены внутрь галереи. При любой компоновке фильтров все технологические трубопроводы выводятся от фильтров в галерею. И только в фильтрах с центральным каналом иногда технологический трубопровод, отводящий промывную воду с фильтра, выводится не в галерею, а с противоположной стороны.

С целью обеспечения компактности и удобства монтажа и эксплуатации магистральные трубопроводы размещают по высоте и от фронта фильтров на достаточных расстояниях. Магистральный трубопровод, подающий воду на фильтрование, располагается выше всех остальных на уровне примыкания технологического трубопровода к фильтру. Несколько ниже прокладывается магистральный трубопровод, отводящий фильтрованную воду в резервуар чистой воды. Магистральный трубопровод подачи воды на промывку располагают ниже уровня желобов фильтров. В самом низу (ниже дна фильтров) прокладывается сточный трубопровод или канал для отвода промывной воды и воды при полном опорожнении фильтра. Магистральный воздуховод (при водовоздушной промывке) прокладывается вне галереи на 2–3 м выше максимального уровня воды в фильтре. Над галереей

устраивается перекрытие, в котором предусматриваются проемы с ограждением над запорной арматурой для возможности ее ремонта.

При выборе типа фильтра по таблице 27 принимаются некоторые показатели фильтрующего материала, необходимые для расчета площади фильтров. Для полной характеристики фильтрующего материала требуется принять недостающие показатели, фильтрующая загрузка характеризуется следующими показателями: минимальный диаметр зерен, мм; максимальный диаметр зерен, мм; эквивалентный диаметр зерен, мм; коэффициент неоднородности загрузки; высота фильтрующего слоя, м.

Для двух- и многослойных фильтров эти параметры приводятся для каждого слоя.

Если в фильтре принята трубчатая распределительная система с поддерживающими гравийными слоями, то следует дополнительно принять крупность фракций и высоту каждого гравийного слоя.

Далее подбирается состав загрузки фильтра согласно таблице 27.

Таблица 27 – Исходные данные при проектировании фильтров

Фильтры	Характеристика фильтрующего слоя						Скорость фильтрования, м/ч	
	Материал загрузки	Диаметр зерен, мм			Коэффициент неоднородности загрузки	Высота слоя, м	при нормальном режиме $v_{p,n}$	при форсированном режиме $v_{p,ф}$
		наименьших	наибольших	эквивалентный				
Однослойные скорые фильтры с загрузкой различной плотности	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7–0,8	1,8–2	0,7–0,8	5–6	6–7,5
		0,7	1,6	0,8–1	1,6–1,8	1,3–1,5	6–8	7–9,5
		0,8	2	1–1,2	1,5–1,7	1,8–2	8–10	10–12
	Дробленый керамзит	0,5	1,2	0,7–0,8	1,8–2	0,7–0,8	6–7	7–9
		0,7	1,6	0,8–1	1,6–1,8	1,3–1,5	7–9,5	8,5–11,5
		0,8	2	1–1,2	1,5–1,7	1,8–2	9,5–12	12–14
Скорые фильтры с двухслойной загрузкой	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7–0,8	1,8–2	0,7–0,8	7–10	8,5–12
	Дробленые керамзит или антрацит	0,8	1,8	0,9–1,1	1,6–1,8	0,4–0,5		

#### Примечания

1 Расчетные скорости фильтрования должны приниматься в зависимости от качества воды в источнике водоснабжения, технологии ее обработки перед фильтрованием и других местных условий. При очистке воды для хозяйственно-питьевых нужд надлежит принимать меньшие значения скоростей фильтрования.

2 Однослойные скорые фильтры с крупностью загрузки 0,8–2 мм надлежит применять только для производственного водоснабжения.

3 Допускаются отклонения в крупности загрузки фильтров в пределах до 10 %.

4 При применении фильтрующих материалов не предусмотренных в таблице 27, рекомендуемые параметры необходимо уточнить на основании экспериментальных данных или имеющегося опыта применения.

5 При использовании фильтров в схемах очистки воды двухступенчатым фильтрованием скорости фильтрования на них следует принимать на 10–15 % больше.

6 При применении загрузок из дробленых керамзита и антрацита водовоздушная промывка не допускается.

Предельные потери напора в фильтре следует принимать для открытых фильтров 3–3,5 м в зависимости от типа фильтра, для напорных – 6–8 м.

Высота слоя воды над поверхностью загрузки в открытых фильтрах должна быть не менее 2 м, превышение строительной высоты над расчетным уровнем воды – не менее 0,5 м.

При выключении части фильтров на промывку скорость фильтрования на остальных фильтрах надлежит принимать постоянной или повышающейся; при этом скорости фильтрования не должны превышать величину  $V_{р.ф}$ , указанную в таблице 27. При работе фильтров с постоянной скоростью фильтрования надлежит предусматривать над нормальным уровнем воды в фильтрах дополнительную высоту, м, определяемую по формуле

$$H_{\text{доп}} = W_0 / \Sigma F_{\text{ф}}, \quad (173)$$

где  $W_0$  – объем воды, м<sup>3</sup>, накапливающийся за время простоя одновременно промываемых фильтров;

$\Sigma F_{\text{ф}}$  – суммарная площадь фильтров, м<sup>2</sup>, в которых происходит накопление воды.

При форсированном режиме скорости движения воды в трубопроводах (подающем и отводящем фильтрат) должны быть не более 1–1,5 м/с.

Трубчатые распределительные (дренажные) системы большого сопротивления следует принимать с выходом воды в поддерживающие слои (гравий или другие аналогичные материалы) или непосредственно в толщу фильтрующего слоя. Необходимо предусматривать возможность прочистки распределительной системы, а для коллекторов диаметром более 800 мм – их ревизию.

Крупность фракций и высоту поддерживающих слоев при

распределительных системах большого сопротивления следует принимать по таблице 28.

Таблица 28 – Высота слоя фильтра в зависимости от крупности зерен

Крупность зерен	Высота слоя	
	В миллиметрах	
40–20	Верхняя граница слоя должна быть на уровне верха распределительной трубы, но не менее чем на 100 мм выше отверстий	
20–10	100–150	
10–5	100–150	
5–2	50–100	
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 При водовоздушной промывке с подачей воздуха по трубчатой системе высоту слоев крупностью 10–5 и 5–2 мм следует принимать по 150–200 мм каждый.</p> <p>2 Для фильтров с крупностью загрузки 0,5–1,2 мм следует предусматривать дополнительный поддерживающий слой с размером зерен 2–1,2 мм высотой 100 мм.</p>		

Общая высота фильтра, м,

$$H_{\phi} = H_{Г} + H_{\phi} + H_{в} + H_{доп} + H_{стр}, \quad (174)$$

где  $H_{Г}$  – общая высота поддерживающих слоёв, м;

$H_{\phi}$  – высота фильтрующего слоя, м;

$H_{в}$  – высота воды над загрузкой, м;

$H_{доп}$  – дополнительную высоту, м;

$H_{стр}$  – превышение строительной высоты фильтра над уровнем воды, 0,5 м.

*Расчет распределительной системы фильтра.* При расчете дренажей фильтров необходимо правильно подобрать сопротивление в отверстиях дренажной системы, обеспечивающее требуемую равномерность (0,9–0,95) распределения промывной воды и воздуха, определить размеры дренажной системы и величину потерь напора в дренаже.

Устройство трубчатого дренажа для фильтров площадью до 40 м<sup>2</sup> показано на рисунке 47, а, а для фильтров площадью более 40 м<sup>2</sup> – на рисунке 47, б.

На ответвлениях трубчатого дренажа следует предусматривать: при наличии поддерживающих слоев – отверстия диаметром 10–12 мм, при их отсутствии – щели шириной на 0,1 мм меньше минимального размера зерен фильтрующей загрузки. Общая площадь отверстий должна составлять 0,25–0,5 % рабочей площади фильтра; площадь щелей – 1,5–2 % рабочей площади фильтра. Отверстия надлежит располагать в два ряда в шахматном порядке под углом 45° к низу от вертикали. Щели должны размещаться

равномерно поперек оси и по периметру трубы не менее чем в два ряда.

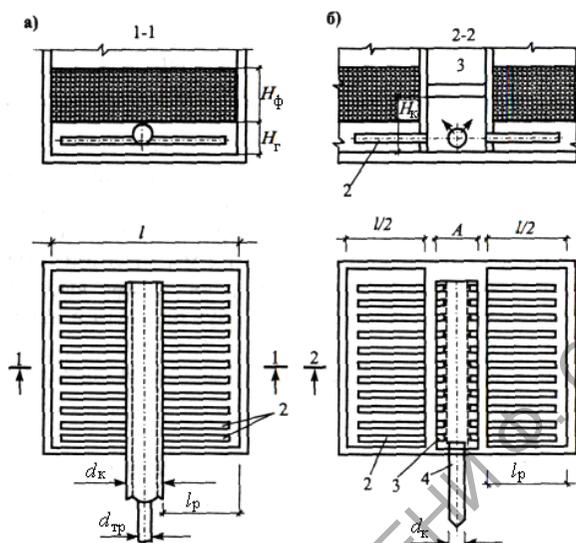


Рисунок 47 – Принципиальная схема трубчатого дырчатого дренажа:

а – с центральным коллектором; б – с центральным каналом; 1 – центральный коллектор; 2 – боковые ответвления; 3 – центральный канал; 4 – подача промывной воды; 5 – дырчатый трубопровод

Расстояние между осями ответвлений следует принимать 250–350 мм, между осями отверстий – 150–200 мм, между щелями не менее 20 мм, от низа ответвлений до дна фильтра – 80–120 мм.

Площадь поперечного сечения коллектора трубчатой распределительной системы принимают постоянной по длине. Скорость движения воды при промывке принимают в начале коллектора 0,8–1,2 м/с, в начале ответвлений – 1,6–2 м/с.

Конструкция коллектора должна обеспечивать возможность укладки ответвлений горизонтально и с одинаковым шагом.

Допускается применять распределительную систему без поддерживающих слоев в виде каналов, располагаемых перпендикулярно коллектору (сбросному каналу) и перекрываемых сверху полимербетонными плитами толщиной не менее 40 мм.

Распределительную систему с колпачками надлежит принимать при водяной и воздушной промывке; количество колпачков должно быть 35–50 на 1 м<sup>2</sup> рабочей площади фильтра.

Для удаления воздуха из трубопровода, подающего воду на промывку фильтра, предусматривают стояки-воздушники диаметром 75–150 мм с

установкой на них запорной арматуры или автоматических устройств для выпуска воздуха; на коллекторе фильтрата предусматривают стояки-воздушники диаметром 50–75 мм, количество которых принимают: при площади фильтра до 50 м<sup>2</sup> – один, при большей площади – два (в начале и в конце коллектора) с установкой на стояках вентилей или других устройств для выпуска воздуха.

Трубопровод, подающий воду на промывку фильтров, надлежит располагать ниже кромки желобов фильтров.

Опорожнение фильтра необходимо предусматривать через распределительную систему и отдельную спускную трубу диаметром 100–200 мм (в зависимости от площади фильтра) с задвижкой.

Для промывки фильтрующей загрузки надлежит применять воду, очищенную на фильтрах. Допускается применение верхней промывки с распределительной системой над поверхностью загрузки фильтров.

Параметры промывки водой загрузки из кварцевого песка следует принимать по таблице 29.

При загрузке керамзитом интенсивность промывки составляет 12–15 дм<sup>3</sup>/(с м<sup>2</sup>) в зависимости от марки керамзита (большие интенсивности относятся к керамзиту большей плотности).

Распределительная система фильтра рассчитывается в такой последовательности.

Определяют количество промывной воды, дм<sup>3</sup>/с,

$$q_{\text{пр}} = w_{\text{пр}} F_1, \quad (175)$$

где  $F_1$  – площадь одного фильтра, м<sup>2</sup>.

**Таблица 29 – Параметры промывки водой загрузки из кварцевого песка**

Фильтры и их загрузка	Интенсивность промывки, дм <sup>3</sup> /(с м <sup>2</sup> )	Продолжительность промывки, мин	Величина относительного расширения
Скорые с однослойной загрузкой диаметром $D$ , мм:	0,7–0,8	6–5	45
	0,8–1		30
	1–1,2		25
Скорые с двухслойной загрузкой	14–16	7–6	50

*Примечания*

1 Большим значениям интенсивности промывки соответствуют меньшие значения продолжительности.

2 При неподвижном устройстве для верхней промывки интенсивность ее следует принимать  $3-4 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ , напор – 30–40 м. Продолжительность промывки – 5–8 мин, из них 2–3 мин до проведения нижней промывки. Распределительные трубы располагают на расстоянии 60–80 мм от поверхности загрузки через каждые 700–1000 мм. Расстояние между отверстиями в распределительных трубах или между насадками принимают 80–100 мм. При вращающемся устройстве интенсивность промывки принимают  $0,5-0,75 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ , напор –

Подбирается диаметр коллектора  $d_k$  по  $q_{\text{пр}}$  и скорости воды в коллекторе  $v_k = 0,8-1,2 \text{ м/с}$ .

Находят площадь поперечного сечения нижней секции центрального канала,  $\text{м}^2$ :

$$f_k = \frac{q_{\text{пр}}}{v_k}, \quad (176)$$

Размеры нижнего сечения центрального канала  $A$  и  $H_k$  (см. рисунок 47, б) должны быть не менее 0,7 м. Если  $d_k \geq 0,7 \text{ м}$ , то

$$A = H_k = d_k + 0,2, \quad (177)$$

где 0,2 – величина, необходимая для нормальной заделки технологического трубопровода в стенку канала, м.

Для повышения равномерности распределения воды допускается прокладывать в центральном канале дополнительную трубу с отверстиями в 2 ряда, направленными вверх под углом  $45^\circ$  к вертикали. На рисунке 47, а эта труба показана штриховой линией. Диаметр трубы определяется по скорости движения промывной воды, принимаемой в пределах 1,8–2,0 м/с.

Общая площадь отверстий в этой трубе,  $\text{м}^2$ ,

$$\sum f_o = \frac{PF_1}{100}, \quad (178)$$

где  $P$  – отношение суммарной площади отверстий к площади фильтра, принимаемое равным 0,5–0,6 %;

$F_1$  – площадь фильтра,  $\text{м}^2$ .

Приняв диаметр отверстий  $d_o = 40-50 \text{ мм}$ , определяют их количество на трубе:

$$n_o = \frac{4\sum f_o}{\pi d_o^2}, \quad (179)$$

где  $d_o$  необходимо выразить в м.

Расстояние между осями отверстий, м,

$$L_o = \frac{l_k}{n_o}, \quad (180)$$

где  $l_k$  – длина коллектора или канала, в котором прокладывается дополнительная труба, м.

Распределительные (стальные или чугунные) трубы выполняются с круглой перфорацией диаметром  $d_o = 10-12$  мм. Они подсоединяются к коллектору (каналу) с обеих сторон под прямым углом, строго горизонтально над дном фильтра на расстоянии до низа труб 80–120 мм.

Рассчитывают количество распределительных труб в фильтре:

$$n_p = \frac{l_k}{l_1}, \quad (181)$$

где  $l_1$  – расстояние между осями труб ответвлений, принимаемое равным 0,25–0,35 м.

Определяют длину распределительных боковых ответвлений, м,:

– с центральным коллектором (трубой) –

$$l_p = \frac{l - d_k}{2} - 0,1, \quad (182)$$

– с центральным каналом –

$$l_p = \frac{l - B_k}{2} - 0,1. \quad (183)$$

Диаметр распределительных боковых ответвлений определяют по расчетному расходу,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ,

$$q_{б.о} = \frac{q_{пp}}{n_p}. \quad (184)$$

Скорость движения воды в распределительных трубах принимается равной 1,6–2 м/с.

Общую площадь отверстий в распределительных трубах рассчитывают по выражению (178), где  $P = 0,25-0,5$  %. Количество отверстий на всех трубах

определяют по формуле (179), приняв диаметр одного отверстия  $d_o = 10\text{--}12$  мм (подставлять в м). Количество отверстий на одной трубе

$$n_{o1} = \frac{n_o}{n_p}. \quad (185)$$

Отверстия следует располагать в два ряда в шахматном порядке под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси трубы. Они должны быть направлены вниз. Расстояние между осями отверстий должно находиться в пределах  $0,15\text{--}0,2$  м, которое определяется по формуле

$$l_o = \frac{2l_p}{n_{o1}}. \quad (186)$$

Устройство дренажа без поддерживающих гравийных слоев отличается от трубчатого дренажа с поддерживающими гравийными слоями тем, что распределительные трубы применяют из нержавеющей стали или винипласта со щелевой перфорацией. Гравийные поддерживающие слои отсутствуют.

Расчет этого дренажа ведется в последовательности по формулам (176)–(184). При определении общей площади щелей  $\Sigma f_{щ}$  по формуле (178)  $P = 1,5\text{--}2,0$  %. Ширина щели должна быть на  $0,1$  мм меньше размера минимальной фракции фильтрующей загрузки.

*Расчет устройств для сбора и отвода воды при промывке фильтра.* Для сбора и отведения промывной воды следует предусматривать желоба полукруглого или пятиугольного сечения. Расстояние между осями соседних желобов должно быть не более  $2,2$  м.

Расчитывают число желобов для сбора и отвода промывной воды, расход воды на один желоб.

Ширина желоба, м,

$$B = K \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1,57 + a)^3}}, \quad (187)$$

где  $K$  – коэффициент, принимаемый равным: для желобов с полукруглым лотком –  $2$ , для пятиугольных желобов –  $2,1$ .

$q_{ж}$  – расход воды по желобу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$a$  – отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимаемое от  $1$  до  $1,5$ ;

Расстояние от верхней кромки желобов до поверхности фильтрующего материала, м,

$$h_{\text{ж}} = \frac{H_3 e}{100} + 0,3, \quad (188)$$

где  $e$  – относительное расширение фильтрующей загрузки при промывке, принимается в зависимости от типа фильтра и загрузки, %;

$H_3$  – высота фильтрующего слоя, м.

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

В фильтрах со сборным каналом расстояние от дна желоба до дна канала, м,

$$H_{\text{кан}} = 1,733 \sqrt{\frac{q_{\text{кан}}^2}{gB_{\text{кан}}^2}} + 0,2, \quad (189)$$

где  $q_{\text{кан}}$  – расходы вод по каналу, м<sup>3</sup>/с;

$B_{\text{кан}}$  – ширина канала, м, принимаемая не менее 0,7 м.

*Примечания* – 1 Уровень воды в канале с учетом подпора, создаваемого трубопроводом, отводящим промывную воду, должен быть на 0,2 м ниже дна желоба.

2 Водовоздушную промывку надлежит применять для фильтров с загрузкой из кварцевого песка при следующем режиме: продувка воздухом с интенсивностью 15–20 дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>) в течение 1–2 мин, затем совместная водовоздушная промывка с интенсивностью подачи воздуха 15–20 дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>) и воды 3–4 дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>) (без продувки) с интенсивностью 6–8 дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>) в течение 4–5 мин.

3 Более крупнозернистым загрузкам соответствуют большие интенсивности подачи воды и воздуха.

4 При обосновании допускается применять режимы промывки, отличающиеся от указанного.

При водовоздушной промывке воду и воздух следует подавать через распределительные системы со специальными колпачками или по раздельным трубчатым распределительным системам для воды и воздуха.

При водовоздушной промывке надлежит применять систему горизонтального отвода промывной воды с пескоулавливающим желобом, образованным двумя наклонными стенками – водосливной и отбойной.

*Определение потерь напора при промывке фильтра.* При промывке фильтров потери напора затрачиваются на преодоление сопротивлений движению воды в соответствующих элементах. Такими элементами являются центральный коллектор (труба или канал), распределительная система, гравийные поддерживающие слои, зернистая фильтрующая загрузка. Потери напора в каждом элементе подсчитываются отдельно, а для определения общих потерь напора в фильтрах при промывке необходимо

суммировать потери напора в отдельных элементах, которые определяются по нижеприведенным формулам.

Потери напора,  $m$ , в центральном коллекторе (канале) и распределительных системах из перфорированных труб рекомендуется определять по формуле

$$h_1 = \zeta \frac{v_k^2}{2g} + \frac{v_p^2}{2g}, \quad (190)$$

где  $v_k$  – скорость в начале коллектора, м/с;

$v_p$  – средняя скорость в распределительных трубах, м/с;

$\zeta$  – коэффициент гидравлического сопротивления, который определяется:

– для распределительных труб с круглой перфорацией – по выражению

$$\zeta = \frac{2,2}{k^2} + 1, \quad (191)$$

– со щелями под углом  $90^\circ$  к оси трубы – по выражению

$$\zeta = \frac{4}{k^2} + 1, \quad (192)$$

где  $k$  – отношение суммы площадей всех отверстий распределительной системы к площади сечения центрального коллектора.

Потеря напора в распределительной системе при промывке фильтра не должна превышать 7 м вод. ст. В фильтрах с распределительной системой из пористых плит потери напора будут равны сумме потерь напора в диафрагмах (2–3 м) и пористых плитах (1–2 м). В гравийных поддерживающих слоях потери напора можно определить по формуле В. Т. Турчиновича

$$h_2 = 0,022H_r w_{пр}, \quad (193)$$

где  $H_r$  – высота гравийных поддерживающих слоев, м;

$w_{пр}$  – расчетная интенсивность промывки,  $dm^3/(c \cdot m^2)$ .

Потери напора в фильтрующем слое, м,

$$H_3 = H_\phi (1 - m_0) \rho_\phi, \quad (194)$$

где  $H_{\phi}$  – высота фильтрующего слоя, м;

$m_0$  – коэффициент пористости загрузки до расширения, принимаемый для песка – 0,4, антрацита – 0,5–0,55, керамзита – 0,7–0,75;

$\rho_{\phi}$  – плотность взвешенной в воде загрузки, т/м<sup>3</sup>, определяемая по выражению  $\rho_{\phi} = \rho_3 - \rho_в$ ;

$\rho_3$  – плотность загрузки, принимаемая для песка – 2,65 т/м<sup>3</sup>, антрацита – 1,7 т/м<sup>3</sup>, керамзита – 1,73 т/м<sup>3</sup>;

$\rho_в$  – плотность воды, равная 1 т/м<sup>3</sup>.

Полная величина потерь, м,

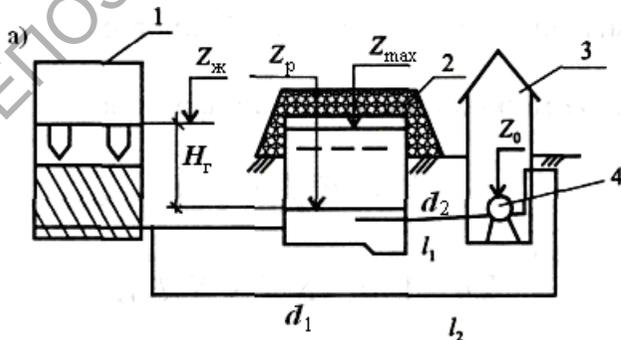
$$\sum h_{\phi} = h_1 + h_2 + h_3. \quad (195)$$

*Подбор насосов для промывки фильтра.* Вода на промывку должна подаваться насосами или из бака (рисунок 48). В зависимости от числа фильтров на станции промывные, системы должны быть рассчитаны на промывку одного или нескольких фильтров одновременно. Объем промывного бака должен обеспечивать одну дополнительную промывку сверх расчетного их числа.

Напор воды для промывки фильтров следует принимать с учетом потерь напора в распределительной системе, подводящих коммуникациях промывной воды и загрузке фильтров.

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

Для промывки фильтров забор воды должен производиться из резервуаров фильтрованной воды, в которых надлежит предусматривать запас воды на одну дополнительную промывку сверх расчетного их числа.



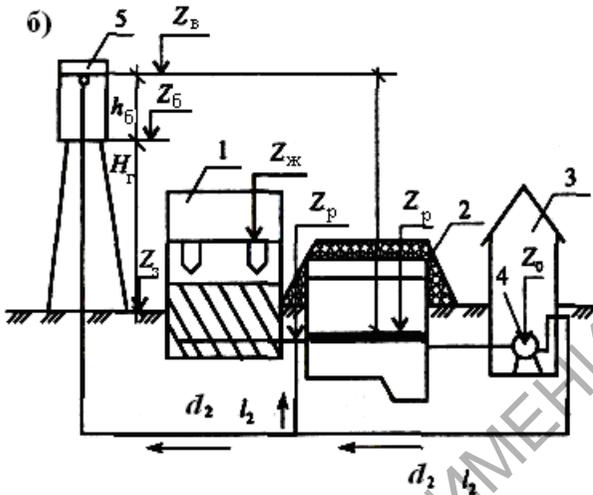


Рисунок 48 –  
 Принципиальная схема  
 промывки фильтров:  
 а – от промывного насоса;  
 б – от промывной башни;  
 1 – фильтр; 2 – резервуар  
 чистой воды; 3 – здание  
 насосной станции;  
 4 – промывной насос;  
 5 – башня для подачи  
 промывной воды

Скорости движения воды в трубопроводах, подающих и отводящих промывную воду, следует принимать 1,5–2 м/с. Должна быть исключена возможность подсоса воздуха в трубопроводы, подающие промывную воду на фильтры, а также подпора воды в трубопроводах, отводящих промывную воду. Напор, м, который должен создавать насос при промывке фильтра,

$$H = h_T + \sum h_\phi + \sum h + h_{з.н}, \quad (196)$$

где  $h_T$  – геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды ( $Z_p$ ) до верхней кромки желобов над фильтром ( $Z_ж$ ), м, (см. рисунок 48);

$h_{з.н}$  – запас напора, равный 1,5 м.

$\sum h$  – общие потери напора во всасывающих и напорных трубопроводах, подводящих воду к фильтру. Определяются по формуле

$$\sum h = 1,1(i_1 l_1 + i_2 l_2), \quad (197)$$

$i_1, i_2$  – гидравлический уклон в напорном и всасывающем трубопроводах;

$l_1, l_2$  – длина трубопроводов, м.

Специальная насосная установка для подачи промывной воды располагается, как правило, в насосной станции второго подъема. Вода на промывку забирается из резервуара чистой воды.

Бак для подачи воды на промывку фильтров устанавливается вблизи фильтровального зала. Вода в промывной бак подается насосной установкой, которая располагается в фильтровальном зале или в насосной станции второго подъема. Забор воды насосными установками в первом случае производится из трубопровода, отводящего фильтрат в резервуар чистой воды, а во втором случае – непосредственно из резервуара чистой воды. Прежде чем приступить к расчету на основании вышеизложенного, необходимо принять тип установки для промывки фильтров (обычно по результатам технико-экономического сравнения вариантов), начертить расчетную схему установки с трубопроводами, по которым забирается и подается вода на промывку самого удаленного фильтра.

*Определение диаметров трубопроводов на фильтровальной станции для подачи и отвода воды.* Диаметры трубопроводов определяют по таблицам для гидравлического расчета стальных труб по расчетному расходу и рекомендуемой скорости. Диаметры трубопроводов, обслуживающих каждый фильтр, определяют из условия форсированного режима работы, т. е. при выключении одного фильтра на промывку.

Результаты гидравлического расчета трубопроводов рекомендуется свести в таблицу 30.

**Таблица 30 – Гидравлический расчет трубопроводов**

Назначение трубопровода	Расход воды, $\text{дм}^3/\text{с}$	Рекомендуемая скорость, $\text{м}/\text{с}$	Диаметр труб, мм	Расчетная скорость, $\text{м}/\text{с}$
Подача осветленной воды на все фильтры		0,8–1,2		
То же на один фильтр		$\leq 1,5$		

*Окончание таблицы 30*

Назначение трубопровода	Расход воды, $\text{дм}^3/\text{с}$	Рекомендуемая скорость, $\text{м}/\text{с}$	Диаметр труб, мм	Расчетная скорость, $\text{м}/\text{с}$
Отвод фильтрата с одного фильтра		$\leq 1,5$		
Отвод фильтрата в резервуар чистой воды со всех фильтров		0,8–1,2		
Подача промывной воды		$\leq 2,0$		
Отвод загрязненной промывной воды		1,5–2,0		

Опорожнение фильтра	–		100–200	
---------------------	---	--	---------	--

**Скорые напорные фильтры.** Площадь напорного фильтра, м<sup>2</sup>, определяют по формуле

$$F = \frac{Q_{\text{сут}}}{Tv_{\text{р.н}} - 3,6n \cdot (w_1t_1 + w_2t_2 + w_3t_3) - nt_4v_{\text{р.н}}}, \quad (198)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – полезная производительность фильтра, м<sup>3</sup>/сут;

$T$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч;

$v_{\text{р.н}}$  – расчетная скорость фильтрования, м/ч;

$n$  – число промывок фильтров за сутки;

$w_1, t_1$  – соответственно интенсивность, дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>), и продолжительность, ч, первоначального взрыхления фильтрующей загрузки;

$w_2, t_2$  – интенсивность подачи воды, дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>), и продолжительность, ч, водовоздушной промывки;

$w_3, t_3$  – интенсивность, дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>), и продолжительность отмывки, ч;

$t_4$  – продолжительность простоя фильтра из-за промывки, ч.

Количество напорных фильтров (рисунок 39) при площади одного фильтра  $F_1$ , м<sup>2</sup> (таблица 31), должно быть

$$N = \frac{F}{F_1}. \quad (199)$$

**Расчет распределительной системы фильтра.** Общий расход воды на промывку на один фильтр, дм<sup>3</sup>/с,

$$q_{\text{пр}} = w_{\text{пр}}F_1, \quad (200)$$

где  $F_1$  – площадь одного фильтра, м<sup>2</sup>.

**Таблица 31 – Основные размеры напорных вертикальных кварцевых фильтров**

Диаметр фильтра, мм	Высота слоя загрузки, мм	Размеры фильтра по высоте, мм			Размеры фильтра в плане, мм			Диаметры основных трубопроводов,			Масса, т	
		$H$	$H_1$	$H_2$	$L$	$L_1$	$L_2$	$d$	$d_1$	$d_2$	без арматуры	нагрузочный

1000	1000	2675	492	192	212	583	680	80	50	50	0,92	4
1500	1000	2962	643	193	860	602	955	125	80	50	1,48	8,5
2000	1000	3235	738	236	885	685	1170	150	80	80	2,22	15
2600	1000	3512	820	220	1400	808	1500	200	100	100	3,94	28
3000	1000	3745	850	290	1706	690	1730	250	125	100	5,12	37
3400	1000	3870	850	250	1700	982	1930	250	125	100	6,54	50

Подбирается диаметр коллектора  $d_k$  по  $q_{пр}$  и скорости воды в коллекторе  $v_k = 0,8-1,2$  м/с.

С каждой стороны коллектора размещается по 6 ответвлений в виде горизонтальных стальных труб наружным диаметром 60 мм, привариваемых к коллектору под прямым углом на взаимных расстояниях  $2/12 = 0,16$  м (между осями труб).

На штуцерах ответвлений укрепляются фарфоровые щелевые дренажные колпачки ВТИ-5. Необходимая суммарная площадь щелей в дренажных колпачках,  $m^2$ , должна быть 0,8–1 % рабочей площади фильтра, т. е.

$$\sum f_{щ} = 0,008 \frac{\pi d^2}{4}. \quad (201)$$

Площадь щелей на каждом колпачке ВТИ-5 составляет  $f_{щ} = 0,000192$   $m^2$ .

Общее число колпачков на ответвлениях распределительной системы

$$n = \frac{\sum f_{щ}}{f_{щ}}. \quad (202)$$

Так как фильтр имеет в плане круглое сечение, то ответвления будут разной длины ( $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ ).

Суммарная длина всех ответвлений распределительной системы фильтра диаметром  $D$  составит, м,

$$L = 2(l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6). \quad (203)$$

Среднее расстояние между дренажными колпачками

$$e = \frac{L}{n}. \quad (204)$$

Определяют количество колпачков на каждом ответвлении и количество колпачков на 1  $m^2$  фильтра (рекомендуется не менее 35–40).

Количество промывной воды, приходящейся на один колпачок,  $m^3/c$ ,

$$q_{\text{колп}} = \frac{q_{\text{пр}}}{n}. \quad (205)$$

Скорость прохода промывной воды, м/с, через щели колпачка

$$v_{\text{щ}} = \frac{q_{\text{колп}}}{f_{\text{щ}}}. \quad (206)$$

Потери напора в щелях дренажных колпачков распределительной системы круглого фильтра, м, состоящей из центрального коллектора и боковых труб неравной длины, определяется по формуле

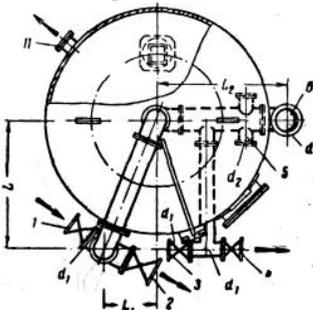
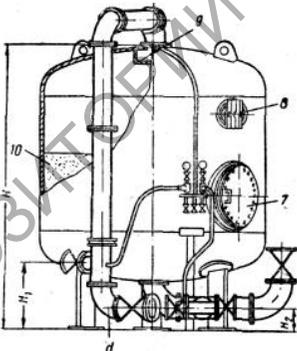
$$h = \frac{v_{\text{щ}}^2}{2g\mu^2}, \quad (207)$$

где  $v_{\text{щ}}$  – скорость движения воды в щелях колпачка, м/с;

$\mu$  – коэффициент расхода, равный 0,5.

На наиболее длинном боковом ответвлении размещено  $n_{\text{max}}$  щелевых колпачков, тогда суммарные потери, м,

$$\sum h = n_{\text{max}}h. \quad (208)$$



Режим промывки напорных фильтров следующий: взрыхление загрузки (с интенсивностью 6–8  $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ) – 1 мин; водовоздушная промывка (3–4  $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  воды и 20–25  $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  воздуха) – 5 мин, отмывка водой (6–8  $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ) – 2 мин.

Отвод промывной воды с напорного фильтра производится при помощи водосборной воронки; диаметр воронки должен быть  $d_{\text{в}} = (0,2-0,25)D$  (где  $D$  – диаметр фильтра). Принимаем  $d_{\text{в}} = 400$  мм.

Рисунок 49 – Вертикальный напорный кварцевый фильтр:

1 – подача воды на осветление; 2 – спуск промывной воды; 3 – выход осветленной воды; 4 – спуск первого фильтрата; 5 – подвод сжатого воздуха; 6 – подвод промывной воды; 7 – лаз круглый; 8 – лаз эллиптический; 9 – верхнее распределительное устройство; 10 – фильтрующий слой (песок, антрацит); 11 – штуцер для гидравлической выгрузки и загрузки фильтра

## Крупнозернистые фильтры

Крупнозернистые фильтры следует применять для частичного осветления воды, используемой для производственных целей, с коагуляцией или без нее.

Для загрузки фильтров следует применять кварцевый песок и другие материалы, обеспечивающие технологический процесс и обладающие требуемой механической прочностью и химической стойкостью. Характеристика загрузки фильтров приведена в таблице 32.

Таблица 32 – Характеристика загрузки фильтра

Материал загрузки	Крупность материала загрузки, мм	Коэффициент неоднородности, не более	Высота слоя загрузки, м	Скорость фильтрования, м/ч
Кварцевый песок	1 - 2	1,8	1,5 - 2	10 - 12
То же	1,6 - 2,5	2	2,5 - 3	13-15

*Примечание.* Для частичного осветления воды допускается применение фильтров специальной конструкции с плавающей загрузкой из пенополистирола.

Напорные крупнозернистые фильтры следует рассчитывать на предельную потерю напора в фильтрующей загрузке и дренаже до 15 м, открытые – 3 - 3,5 м. В открытых фильтрах необходимо предусматривать слой воды над уровнем загрузки 1,5 м.

Промывку крупнозернистых фильтров надлежит предусматривать с применением воды и воздуха. Водяную и воздушную распределительные системы или объединенную водовоздушную распределительную систему, устройства для отвода промывной воды из открытых фильтров надлежит рассчитывать по тем же формулам что и для обычного фильтра с интенсивностями, приведенными в таблице 32.

При расчете крупнозернистых фильтров надлежит принимать следующий режим промывки: взрыхление фильтрующей загрузки воздухом интенсивностью 15 - 25 л/ (с м<sup>2</sup>) – 1 мин; водовоздушная промывка с интенсивностью 3,5 - 5 л/(с м<sup>2</sup>) воды и 15 - 25 л/(с м<sup>2</sup>) воздуха – 5 мин; отмывка водой с интенсивностью 7 - 9 л/(с м<sup>2</sup>) – 3 мин. Большие значения интенсивности промывки относятся к более крупной загрузке.

Площадь крупнозернистых фильтров следует определять согласно формуле (174).

При количестве фильтров до 10 следует предусматривать возможность выключения на ремонт одного фильтра, при большем количестве – двух фильтров. При этом скорость фильтрования на оставшихся в работе фильтрах не должна превышать наибольших значений, указанных в таблице 27.

### **Контактные осветлители**

На станциях контактного осветления воды надлежит предусматривать сетчатые барабанные фильтры и входную камеру, обеспечивающую требуемый напор воды, смешение и контакт воды с реагентами, а также выделение из воды воздуха.

Объем входной камеры должен определяться из условия пребывания воды ней не менее 5 мин. Камера должна быть секционирована не менее чем на 2 отделения, в каждом из которых надлежит предусматривать переливные и спускные трубы.

Сетчатые барабанные фильтры надлежит располагать над входной камерой, установка их в отдельно стоящем здании допускается при обосновании.

#### *Сетчатые барабанные фильтры.*

Сетчатые барабанные фильтры следует применять для удаления из воды крупных плавающих примесей (барабанные сетки) и для удаления указанных примесей и планктона (микрофильтры).

Сетчатые барабанные фильтры следует размещать на площадке станций водоподготовки, при обосновании допускается их размещение на водозаборных сооружениях. Расчет сетчатых фильтров см в п. 6.2.

Контактная камера должна иметь не менее двух отделений. Общая

площадь контактной камеры численно принимается равной площади, занимаемой БС или МФ. Если для смешения раствора коагулянта с обрабатываемой водой применяются встроенные во входную камеру смесители, то общая площадь контактной камеры определяется с учетом площади смесителей  $f_c$  по выражению:

$$F_{\text{общ}} = F + f_c, \text{ м}^2. \quad (216)$$

Объем контактной камеры определяется по суммарному времени пребывания воды в ней, необходимому для смешения и контакта с реагентами:

$$W_k = \frac{q_k \cdot \Sigma t}{60}, \text{ м}^3, \quad (217)$$

где  $q_k$  – часовой расход, поступающий в камеру,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$\Sigma t$  – суммарное время пребывания воды в камере, мин.

Для определения величины  $\Sigma t$  при последовательном вводе нескольких реагентов необходимо принять для каждого реагента интервал времени между их вводом.

Минимальный объем камеры должен соответствовать времени пребывания воды в ней не менее 5 мин.

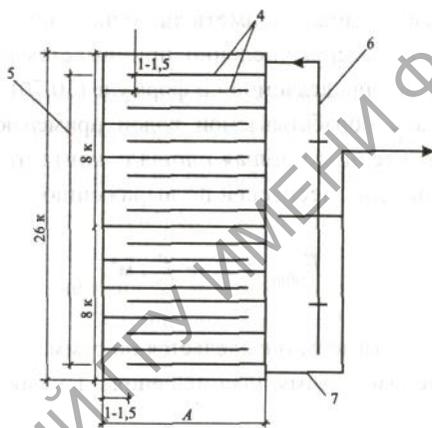
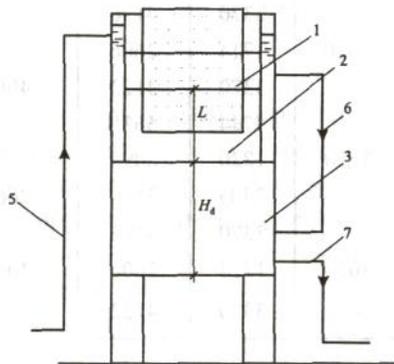


Рисунок 50 – Принципиальная схема микрофильтров (барабанных сеток) с контактными камерами:

1 – микрофильтр (барабанные сетки); 2 – ванна микрофильтров (барабанных сеток); 3 – контактная камера; 4 – перегородки контактной камеры; 5 – подача исходной воды на микрофильтры (барабанные сетки); 6 – отвод воды в контактные камеры; 7 – отвод воды из контактных камер

Высота камеры определяется, исходя из найденных объема и площади, и должна быть не менее 1,5 м:

$$H_k = \frac{W_k}{F_{\text{общ}}}, \text{ м}^2. \quad (218)$$

Размеры входной камеры в плане определяются компоновкой БС или МФ,

подводящих и отводящих каналов и смесителя.

Для обеспечения движения воды во всем объеме камеры она делится вертикальными перегородками перпендикулярно длинной стороне: через 1—1,5 м, которые поочередно не доходят до противоположной стены на 1—1,5 м.

Превышение уровня воды во входных камерах над уровнем в контактных осветлителях  $H_y$ , м, следует определять по формуле

$$H_y = 0,8h_z + h_c \quad (219)$$

где  $h_z$  – предельно допустимая потеря напора в песчаном слое загрузки, принимаемая равной высоте его слоя, м;

$h_c$  – сумма всех потерь напора на пути движения воды от начала входной камеры до загрузки осветлителей, м.

Отвод воды из входных камер на контактные осветлители должен предусматриваться на отметке не менее чем на 2 м ниже уровня воды в осветлителях. В камерах и трубопроводах должна быть исключена возможность насыщения воды воздухом.

Контактные осветлители при промывке водой надлежит предусматривать без поддерживающих слоев, при промывке водой и воздухом – с поддерживающими слоями.

Загрузку контактных осветлителей надлежит принимать по таблице 33.

Таблица 33 – Загрузку контактных осветлителей

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

*Примечания:* 1. Для контактных осветлителей с поддерживающими слоями верхняя граница гравия крупностью 40 - 20 мм должна быть на уровне верха труб распределительной системы. Общая высота загрузки должна быть не св. 3, м.

2. Для загрузки контактных осветлителей следует применять гравий и кварцевый песок, а также другие материалы, отвечающие требованиям п. 6.96 с плотностью 2,5 - 3,5 г/см<sup>3</sup>.

Скорости фильтрации в контактных осветлителях следует принимать: без поддерживающих слоев при нормальном режиме – 4 - 5 м/ч, при форсированном – 5 - 5,5 м/ч; с поддерживающими слоями при нормальном режиме – 5 - 5,5 м/ч, при форсированном – 5,5 - 6 м/ч.

При очистке воды для хозяйственно-питьевых нужд надлежит принимать меньшие значения скоростей фильтрации.

Допускается предусматривать работу контактных осветлителей с переменной, убывающей к концу цикла скоростью фильтрации при условии, чтобы средняя скорость равнялась расчетной.

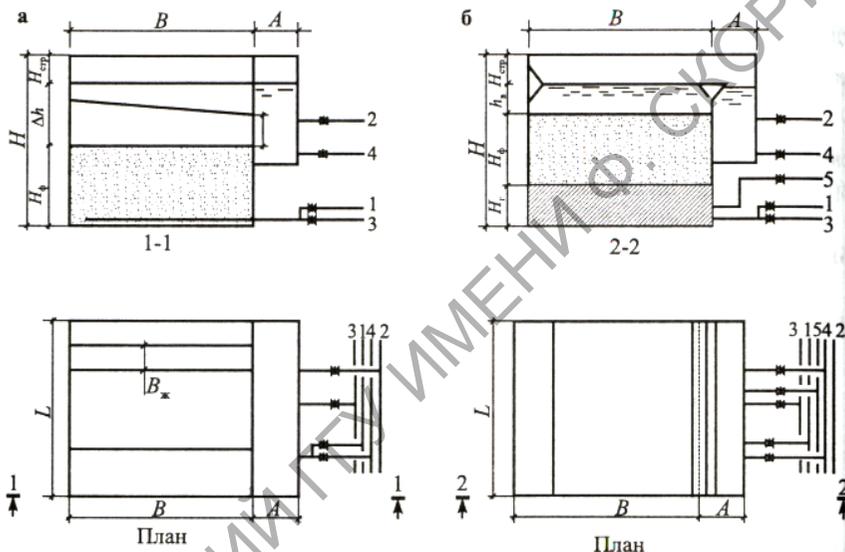


Рисунок 51 – Принципиальная схема контактного осветлителя:

а – типа КО-1; б – типа КО-3; 1 – подача исходной воды; 2 – отвод фильтрата; 3 – подача промывной воды; 4 – отвод промывной воды; 5 – воздуховод

Контактные осветлители без поддерживающих слоев промываются водой, отвод которой осуществляется с помощью желобов (тип КО-1). Контактные осветлители с поддерживающими слоями промываются водой и воздухом, в которых применяются системы горизонтального отвода промывной воды с пескоулавливающим желобом (тип КО-3). КО-1 применяют преимущественно для очистки природных вод с небольшой цветностью и мутностью и малым содержанием планктона. В остальных случаях рекомендуется применять КО-3.

Общую площадь контактных осветлителей  $F_{к.о}$  надлежит определять с

учетом сброса первого фильтрата по формуле

$$F_{к.о} = Q / [T_{см} v_{np} - n_{np} (q_{np} + \tau_{np} v_n + \tau_{см} v_n / 60)], \text{ м}^2, \quad (220)$$

где  $Q$  – полезная производительность станции,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$T_{см}$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч;

$v_n$  – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме,  $\text{м}/\text{ч}$ , принимаемая по таблице 34, с учетом расчетов по формуле (176);

$\tau_{см}$  – продолжительность сброса первого фильтрата, мин, принимаемая согласно таблице 34;

$n_{np}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации;

$q_{np}$  – удельный расход воды на одну промывку,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ;

$\tau_{np}$  – время простоя осветлителя в связи с промывкой, принимаемое для фильтров, промываемых водой – 0,33 ч, водой и воздухом – 0,5 ч.

Для получения воды, отвечающей нормативным требованиям на питьевую воду, приведенные в таблице 34, следует принимать нижние пределы скоростей фильтрования. При определении удельного расхода воды на одну промывку контактного осветлителя типа КО-I следует пользоваться формулой

$$q_{np} = 3,6 \cdot w_{np} \cdot t_{np}, \text{ м}^3/\text{м}^2, \quad (221)$$

где  $w_{np}$  – интенсивность промывки,  $\text{л}/\text{с} \cdot \text{м}^2$ ;

$t_{np}$  – продолжительность промывки, ч,  
а типа КО-3 – формулой

$$q = \sum q, \text{ м}^3/\text{м}^2, \quad (222)$$

где  $\sum q$  – сумма удельных расходов воды на отдельных этапах водовоздушной промывки,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ .

При этом большей интенсивности подачи воды на промывку должна соответствовать меньшая продолжительность промывки, и наоборот. После определения площади КО производится расчет их количества по формуле (175), затем необходимо проверить соблюдение условия (176) и определить площадь одного контактного осветлителя по формуле  $f = F/N$ . При дальнейших расчетах и конструировании найденные параметры КО проставляются на схемах и эскизах.

Конструирование и компоновка КО производится аналогично фильтрам. При этом низ патрубка, отводящего осветленную воду из контактных осветлителей, должен располагаться на 100 мм выше уровня воды в сборном

канале при промывке.

Таблица 34 – Параметры работы контактных осветлителей

Наименование показателя	Тип осветлителя	
	без поддерживающих слоев	с поддерживающими слоями
Скорость фильтрования, м/ч: при нормальном режиме при форсированном режиме	4,0 - 5,0 5,0 - 5,5	5,0-5,5 5,5 - 6,0
Продолжительность сброса первого фильтра, мин	5-10(10-15)	10-12(12-15)
Интенсивность подачи воды на промывку, л/(с·м <sup>2</sup> )	15,0-18,0	3,0 - 3,5 с воздухом 6,0 - 7,0 без воздуха
Продолжительность промывки, мин	7,0 - 8,0	6,0 - 7,0 с воздухом 5,0 - 7,0 без воздуха

*Примечание:* в скобках указана продолжительность сброса первого фильтра при промывке КО неочищенной водой.

Трубопроводы, отводящие осветленную и промывную воду, следует прокладывать на отметках, исключающих возможность подтопления осветлителей во время рабочего цикла и при промывках.

Для опорожнения КО на нижней части коллектора распределительной системы должен быть предусмотрен трубопровод с запорным устройством, диаметром, обеспечивающим скорости нисходящего потока воды в осветлителе не более 2 м/ч при наличии поддерживающих слоев и не более 0,2 м/ч - без поддерживающих слоев. В последнем случае следует предусматривать устройства, исключающие вынос загрузки.

Для промывки следует использовать очищенную воду. Допускается использование неочищенной воды при условиях: мутности ее не более 10 мг/л, коли-индекса — до 1000 ед/л, предварительной обработки воды на барабанных сетках (или микрофильтрах) и обеззараживания. При использовании очищенной воды должен быть предусмотрен разрыв струи перед подачей воды в емкость для хранения промывной воды. Непосредственная подача воды на промывку из трубопроводов и резервуаров фильтрованной воды не допускается.

Водовоздушную промывку контактных осветлителей надлежит предусматривать со следующим режимом: взрыхление загрузки воздухом с интенсивностью 18 - 20 л/(с м<sup>2</sup>) в течение 1 - 2 мин; совместная водовоздушная промывка при подаче воздуха 18 - 20 л/(с м<sup>2</sup>) и воды 3 - 3,5 л/(с м<sup>2</sup>) при продолжительности 6 - 7 мин; дополнительная промывка водой с интенсивностью 6 - 7 л/(с м<sup>2</sup>) продолжительностью 5 - 7 мин.

В контактных осветлителях с поддерживающими слоями и водовоздушной промывкой надлежит применять трубчатые распределительные системы для подачи воды и воздуха и систему

горизонтального отвода промывной воды.

В контактных осветлителях без поддерживающих слоев должна предусматриваться распределительная система с приваренными вдоль дырчатых труб боковыми шторками, между которыми привариваются поперечные перегородки, разделяющие подтрубное пространство на ячейки. Отверстия в дырчатых трубах следует располагать в два ряда в шахматном порядке и должны быть направлены вниз под углом  $30^\circ$  к вертикальной оси трубы. Диаметр отверстий – 10 - 12 мм, расстояние между осями в ряду – 150 - 200 мм. Распределительную систему надлежит проектировать в соответствии с таблице 35.

Таблица 35 – **Распределительная система контактных осветлителей**

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

*Примечания:* 1. Скорость движения воды на входе в трубы ответвлений при промывке надлежит принимать 1,4 - 1,8 м/с.

2. Большим расстояниям между осями труб соответствуют большие расстояния от дна осветлителя до низа шторок.

Над кромками желобов следует предусматривать пластины с треугольными вырезами высотой и шириной по 50 - 60 мм, с расстояниями между их осями 100 - 150 мм.

Каналы и коммуникации для подачи и отвода воды, баки и насосы для промывки контактных осветлителей надлежит проектировать аналогично фильтрам, при этом низ патрубка, отводящего осветленную воду из контактных осветлителей, должен быть на 100 мм выше уровня воды в сборном канале при промывке.

Трубопроводы отвода осветленной и промывной воды должны предусматриваться на отметках, исключающих возможность подтопления осветлителей во время рабочего цикла и при промывках.

Для опорожнения контактных осветлителей на нижней части коллектора распределительной системы должен предусматриваться трубопровод с запорным устройством диаметром, обеспечивающим скорость нисходящего потока воды в осветлителе не более 2 м/ч при наличии поддерживающих слоев и не более 0,2 м/ч – без поддерживающих слоев. При опорожнении осветлителей без поддерживающих слоев следует предусматривать

устройства, исключая вынос загрузки.

### Медленные фильтры

Расчетные скорости фильтрования на медленных фильтрах надлежит принимать в пределах 0,1 - 0,2 м/ч, при этом скорость выше 0,1 м/ч - только на время промывки фильтра.

Количество фильтров должно приниматься не менее трех. Ширина фильтра должна быть не более 6 м, длина – не более 60 м.

Крупность зерен и высоту слоев загрузки фильтров следует принимать по таблице 36.

Таблица 36 – Крупность зерен и высоту слоев загрузки фильтров

№ слоя сверху вниз	Загрузочный материал	Крупность зерен, мм	Высота слоя загрузки, мм
1	Песок	0,3 - 1	500
2	Песок	1-2	50
3	Песок	2 - 5	50
4	Гравий или щебень	5 - 10	50
5	То же	10 - 20	50
6	То же	20 - 40	50

Медленные фильтры следует проектировать с механической или гидравлической регенерацией песчаной загрузки.

Расход воды на один смыв загрязнений с 1 м<sup>2</sup> поверхности загрузки фильтра надлежит принимать 9 л/с, продолжительность смыва загрязнений на каждые 10 м длины фильтра – 3 мин.

Вода на регенерацию медленного фильтра должна поступать от специального насоса или из специального бака. Допускается регенерацию фильтра предусматривать за счет форсирования производительности насосов, подающих воду на осветление, или за счет частичного использования емкости фильтров, работающих в режиме фильтрования.

Слой воды над поверхностью загрузки медленных фильтров должен приниматься 1,5 м. При наличии перекрытия над фильтрами расстояние от поверхности загрузки до перекрытия должно быть достаточным для обеспечения работ по регенерации, а также смены и отмывки загрузки.

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

### Контактные префильтры

Контактные префильтры следует применять при двухступенчатом фильтровании для предварительной очистки воды перед скорыми

фильтрами (второй ступени).

Конструкция контактных префильтров аналогична конструкции контактных осветлителей с поддерживающими слоями и водовоздушной промывкой, при их проектировании следует руководствоваться рекомендациями для расчета контактных осветлителей. При этом площадь префильтров надлежит определять с учетом пропуска расхода воды на промывку скорых фильтров второй ступени.

При отсутствии технологических изысканий основные параметры контактных префильтров следует принимать:

высоту слоев песка, при крупности зерен, мм:

5 – 2 0,5 - 0,6 м

2 – 1 2 - 2,3 м

эквивалентный диаметр зерен песка 1,1 - 1,3 мм

скорость фильтрования при нормальном режиме 5,5 - 6,5 м/ч

скорость фильтрования при форсированном режиме 6,5 - 7,5 м/ч.

Следует предусматривать смешение фильтрата одновременно работающих контактных префильтров перед подачей его на скорые фильтры.

### Песковое хозяйство

Кварцевый песок, используемый в качестве загрузки фильтра, должен быть очищен от примесей и иметь определенный гранулометрический состав.

В установках пескового хозяйства предусматривается подготовка карьерного песка как для первоначальной загрузки фильтров, так и для ежегодной его загрузки в размере 10% общего объема песчаного фильтрующего материала.

**Пример.** Объем песка, загружаемого в фильтры перед пуском станции с четырнадцатью фильтрами площадью 49,7 м<sup>2</sup> каждый и высотой фильтрующего слоя 1,5 м составит

$$W_n = 14 \cdot 49,7 \cdot 1,5 = 1043,7 \text{ м}^3.$$

Годовая потребность в дополнительном количестве песка (догрузка):

$$W_d = 1043,7 \cdot 0,1 = 104,4 \text{ м}^3.$$

Будем считать, что в карьерном сырье содержится 55% песка, пригодного для загрузки фильтров.

Потребность в карьерном песке перед пуском станции составит

$$W_n' = \frac{1043,7 \cdot 100}{55} = 1897,6 \text{ м}^3.$$

Годовая потребность в карьерном песке для догрузки

$$W_o' = \frac{104,4 \cdot 100}{55} = 189,8 \text{ м}^3.$$

Песковая площадка принимается асфальтированной с размером в плане  $65 \times 30$  м (площадью  $1950 \text{ м}^2$ ), в том числе размер отделения для складирования карьерного сырья  $30 \times 12$ . Объем складированного сырья при высоте слоя  $0,5$  м составит

$$W_c = 30 \cdot 12 \cdot 0,5 = 180 \text{ м}^2.$$

Чистый отсортированный песок с крупностью зерен  $0,5 - 1$  мм хранящейся в двух железобетонных емкостях размером  $6 \times 9$  м (в осях) каждая и высотой  $2$  м размещенных в фильтровальном цехе. Объем отсортированного песка составит

$$W_{от} = 5,8 \cdot 8,8 \cdot 2 \cdot 2 = 205 \text{ м}^3.$$

Сортировка и отмывка песка производится в классификаторе ТКП-4 производительностью  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  исходного сырья.

Продолжительность работы классификатора перед пуском станции составит  $t_k = 1897,6 / 5 = 379,52$  ч, а для догрузки фильтров  $t_d = 189,8 / 5 = 37,96$  ч в год.

Объем расходуемой воды перед пуском станции:

классификатором ( $Q_{\text{час}} = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ):  $q_k = 300 \cdot 379,52 = 113856 \text{ м}^3$ .

бункером – питателем:  $Q_b = 30 \cdot 379,52 = 11385,6 \text{ м}^3$ .

Суммарный расход воды  $Q = 125241,6 \text{ м}^3$ .

Объем воды, расходуемый при догрузке песка:

классификатором  $300 \cdot 37,96 = 11388 \text{ м}^3/\text{год}$ .

бункером – питателем  $30 \cdot 37,96 = 1138,8 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Общий расход исходной воды  $12526,8 \text{ м}^3/\text{год}$ .

## 6.11 Использование воды от промывки фильтров

В комплексе станции очистки воды предусматриваются сооружения для повторного использования промывной воды от фильтров и сооружения обработки осадка отстойников.

В технологии обработки промывных вод и осадка предусматривают следующие основные сооружения: резервуары, отстойники, сгустители, накопители или площадки замораживания и подсушивания осадка. Допускается механическое обезвоживание и регенерация коагулянта из осадка.

Возможны две схемы оборота промывной воды. При двухступенчатой очистке: промывные воды от фильтров, пройдя песколовку, поступают в резервуар-усреднитель, а из него без отстаивания или после него равномерно перекачиваются в головной узел очистных сооружений. При очистке воды только фильтрованием промывные воды через песколовку поступают в отстойники периодического действия.

Вода, использованная для промывки загрузки фильтров от загрязнений, сбрасывается в резервуары-усреднители, и после выделения из нее тяжелой взвеси (измельченных зерен загрузки) в песколовках равномерно перекачивается в головной узел очистной станции. При отсутствии предварительного хлорирования оборотные промывные воды необходимо обеззараживать хлором 2-4 мг/л.

Количество резервуаров промывных вод принимают не менее двух. Объем каждого из них определяют в соответствии с графиком поступления и перекачки промывных вод. Отстойники промывных вод рассчитывают, исходя из тех же соображений. Образующийся осадок передают в сгустители на дополнительное уплотнение или на сооружения обезвоживания осадка. Осадок, образующийся в отстойниках, сбрасывается под гидростатическим давлением в резервуары для приема осадка, откуда он перекачивается в осадкоуплотнители, оборудованные мешалками медленного перемешивания. В процессе медленного перемешивания происходит многократное уплотнение осадка. Осадок периодически из нижней конической части осадкоуплотнителя под гидростатическим давлением отводится в емкость сгущенного осадка. Сгущенный осадок в дальнейшем предполагается обезвоживать на площадках обезвоживания или сбрасывать в шламонакопители. Осветленная вода после уплотнения осадка отводится в сток или в «голову очистных сооружений».

Обработка промывной воды при применении КО проводится по схеме: вода, использованная для промывки загрузки КО от загрязнений, сбрасывается в резервуары-отстойники, предварительно пройдя через песколовки. Время отстаивания 1 ч, дозы полиакриламида 0,08-0,16 мг/л (меньшие дозы при обработке цветных маломутных вод). Для улучшения эффекта отстаивания в промывную воду от реагентного хозяйства подается флокулянт (ПАА). После часового отстаивания верхний осветленный слой воды собирается при помощи перфорированных труб, проложенных на границе зоны осветления и защитной зоны, насосами перекачивается в головной узел водоочистных сооружений. Осадок из отстойника другой

группой насосов подается на сгущение или отводится в шламонакопитель. Сгустители с медленным механическим перемешиванием используют для ускорения уплотнения осадка из сооружений I ступени очистки воды и из реагентного хозяйства, а так же осадка из отстойников промывных вод.

Накопители предусматривают для складирования и обезвоживания осадка с удалением осветленной воды и воды, выделившейся при его уплотнении. Расчетный период передачи осадка в накопитель принимают не менее пяти лет. В качестве накопителей используют отработанные карьеры, овраги и спланированные площадки глубиной не менее 2 м. Число секций накопителя принимают не менее двух, работающих попеременно.

Площадки замораживания для обезвоживания осадка устраивают в районах с периодом устойчивого мороза не менее двух месяцев в году с последующим его удалением через 1-3 года в места складирования.

Образующийся при обработке воды осадок подвергают обезвоживанию в естественных или искусственных условиях. Большинство водоочистных комплексов направляют образующиеся осадки на иловые карты или площадки, где они подвергаются испарению и вымораживанию в естественных условиях. В зависимости от географического положения очистных сооружений и сезонных климатических условий влажность осадка может уменьшиться с 98,5-99 до 78-80% за период между наполнением карт. Нагрузка на площадки может быть уменьшена за счет возврата осветленной части воды на очистные сооружения. Подобная рециркуляционная система не приносит экономических выгод, так как возврат воды приводит к дополнительным затратам. Однако ее функционирование оправдано необходимостью уменьшить загрязнение поверхностных вод.

В большинстве случаев площадки представляют собой земляные емкости на естественном грунтовом основании с системой водосливов отстойной воды и дренажами из труб. На практике одну карту заполняют до предела, после чего в течение 2-3 лет уменьшается влажность осадка на 60-70%. При такой влажности осадок погружают на самосвалы и вывозят на заранее выбранную территорию.

Механическое обезвоживание осадка технически может быть применено на очистных комплексах любой производительности. В качестве аппаратов используют фильтр-прессы. Вакуум-фильтры при обезвоживании осадков от очистки маломутных вод сульфатом алюминия не обеспечивают необходимое уменьшение влажности. Для механического обезвоживания требуется предварительная подготовка осадка, которая заключается в разрушении гелеобразной структуры гидроксида алюминия. Хороший эффект дает применение извести. Использование фильтр-пресса считается экономичным для осадков вод средней цветности и мутности при дозах не более 50-70 % от массы сухого осадка.

Кислотная обработка осадка для регенерации сульфата алюминия может

также применяться на водоочистных комплексах различной производительности. Кислотную обработку не целесообразно осуществлять на очистных комплексах, которые обрабатывают высокоцветную воду. В этом случае восстановленный коагулянт будет загрязнен растворенными органическими веществами. Не следует так же применять кислотную обработку для осадка от очистки высокомутных вод. Осадок от обработки таких вод имеет низкое содержание остаточного гидроксида алюминия и большой абсолютный объем. Расход 100% кислоты в среднем составляет 3 кг на 1 кг оксида алюминия. Применение кислотной обработки имеет также ограничение и по химическим показателям исходной воды. Растворенные кислотой токсичные загрязнения из осадка будут переходить в обрабатываемую воду и накапливаться в ней.

Восстановление сульфата алюминия происходит в три этапа: уплотнение осадка до концентрации сульфата алюминия не менее 2% (20 г/л); добавление серной кислоты до кислотности  $pH$  — 2-3 и пребывание в растворе для увеличения уплотнения и отделения осадка от сульфата алюминия.

Восстановление сульфата алюминия до 90% возможно в том случае, если фильтр-прессы способны выдержать сильнокислые осадки.

Для облегчения транспортировки и хранения осадка в конце цикла на фильтр-прессы подается известковое молоко. Хороший эффект дают добавки искусственных органических и неорганических флокулянтов. Считают, что осадок таким способом можно обезводить до концентрации сухого вещества 40-45%.

#### ***Резервуары промывных вод.***

Резервуары промывных вод надлежит предусматривать на станциях подготовки воды с отстаиванием и последующим фильтрованием для приема воды от промывки фильтров и ее равномерной перекачки без отстаивания в трубопроводы перед смесителями или в смесителях.

Следует предусматривать возможность сброса в эти резервуары воды над осадком в отстойниках при их опорожнении.

Количество резервуаров надлежит принимать не менее двух. Объем каждого резервуара следует определять по графику поступления и равномерной перекачки промывной воды и принимать не менее объема воды от одной промывки фильтра.

Насосы и трубопроводы перекачки промывной воды должны проверяться на работу фильтров при фокусированном режиме.

Перед поступлением в аккумулирующие емкости промывная вода пропускается через простейшую песколовку, устраиваемую вблизи фильтрованной станции.

На одну промывку скорого фильтра расход воды составляет

$$q = \frac{F \cdot \omega \cdot 60 \cdot t_1}{1000}, \text{ м}^3, \quad (223)$$

где  $F$  – площадь одного фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$\omega$  – интенсивность промывки скорого фильтра водой,  $\text{л/с}\cdot\text{м}^2$ ;

$t_1$  – продолжительность промывки, мин.

Подбираются две аккумулирующие емкости объемом  $q$  каждая.

В наиболее напряженный паводковый период производят  $n$  промывок фильтра в сутки. Общее число промывок за сутки

$$\Sigma n = n \cdot N, \text{ шт}, \quad (224)$$

где  $N$  – число фильтров, шт.

При этих условиях на каждый цикл использования залпового сброса промывной воды приходится интервал времени

$$T = \frac{\Sigma n}{24}, \text{ ч}. \quad (225)$$

Полагая, что повторно используется 80% промывной воды, а 20% воды сбрасывается с осадком в сток, определяем параметры насосной установки:

а) насос для перекачки осветленной воды на фильтр:

принимаем продолжительность перекачки  $t_1 = 30 \text{ мин} = 0,5 \text{ ч}$ ,

отсюда производительность насоса

$$q_{n1} = \frac{0,8 \cdot q}{t_1}, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (226)$$

б) насоса для перекачки шламовой воды из аккумулирующей емкости в канализацию:

принимаем продолжительность перекачки  $t_2 = 15 \text{ мин} = 0,25 \text{ ч}$ ;

производительность насоса

$$q_{n2} = \frac{0,2 \cdot q}{t_2}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (227)$$

#### **Отстойники промывных вод.**

Отстойники промывных вод надлежит предусматривать при одноступенчатом фильтровании (фильтры, контактные осветлители) и

обезжелезивания воды.

Отстойники промывных вод, насосы и трубопроводы следует рассчитывать, исходя из периодического поступления промывных вод, отстаивания и равномерного перекачивания осветленной воды в трубопроводы перед смесителями или в смесители.

Накопившейся остаток следует отправить в сгустители на дополнительное уплотнение или на сооружения обезвоживания осадка.

Продолжительность отстаивания промывных вод надлежит принимать для станций безреагентного обезжелезивания воды – 4 часа, для станций осветления воды и реагентного обезжелезивания воды – 2 ч.

При применении полиакриламида дозой 0,08 - 0,16 мг/л продолжительность отстаивания вод следует снижать до 1 ч.

При определении объема зоны накопления осадка в отстойниках влажность осадка следует принимать 99% для станций осветления воды и реагентного обезжелезивания и 96,5% для станций безреагентного обезжелезивания.

Общую продолжительность накопления осадка при многочисленном периодическом наполнении отстойников надлежит принимать не менее 8 ч.

#### ***Сгустители.***

Сгустители с медленным механическим перемешиванием надлежит применять для ускорения уплотнения осадка из горизонтальных и вертикальных отстойников, осветлителей, реагентного хозяйства и осадка из отстойников промывных вод на станциях водоподготовки при среднегодовой мутности исходной воды до 300 мг/л.

При обосновании осадок допускается направлять на сооружения обезвоживания без предварительного уплотнения в сгустителях.

Для сгустителей надлежит принимать: диаметр – до 18 м; среднюю рабочую глубину не менее 3,5 м; уклон дна к центральному приемку – 80; вращающуюся ферму – с вертикальными лопастями треугольного или круглого сечения и скребками для перемещения уплотненного осадка к центральному приемку; лобовую поверхность лопастей – от 25 до 30% площади поперечного сечения перемешиваемого объема осадка; верх лопастей – на отметке равной половине слоя воды в середине вращающейся фермы; подачу осадка в сгуститель – периодическую по графику удаления осадка от сооружения; ввод осадка – на 1 м. выше отметки дна в центре сгустителя; забор осветленной воды – устройствами, не зависящими от уровня воды в сгустителях (через плавающий шланг и т.п.).

Продолжительность цикла сгущения осадка следует определять по общей длительности следующих операций: наполнения сгустителя – от 10 до 30 мин в зависимости от длительности удаления осадка из сооружений; сгущения – по данным технологических изысканий или аналогичных станций водоподготовки, а при их отсутствии по таблице; последовательной

перекачки осветленной воды и сгущенного осадка – от 30 до 40 мин.

Перекачку осадка допускается предусматривать через несколько циклов сгущения.

Наибольшую скорость движения вращающейся фермы и среднюю влажность осадка после сгущения следует определять технологическими изысканиями, а при их отсутствии по таблице 37.

Таблица 37 – Основные параметры для расчета сгустителей

Характеристика обрабатываемой воды и способ обработки	Наибольшая скорость движения конца вращающейся фермы, м/с	Продолжительность цикла сгущения, ч	Средняя влажность осадка на выпуске из сгустителя, %
Маломутные воды, обрабатываемые коагулянтом	0,015	10	97,7 - 98,2
Воды средней мутности, обрабатываемые коагулянтом	0,025	8	96,8 - 97,3
Мутные воды, обрабатываемые коагулянтом	0,030	6	85,5 - 91,8
Умягчение при магнeвoй жесткости до 25%	0,025	5	80 - 82,7
Умягчение при магнeвoй жидкости более 25%	0,015	8	87,3 - 90,9
Обезжелезивание без применения реагентов	0,015	8	91,4 - 93,2
Обезжелезивание с применением реагентов (коагулянта, извести, перманганата калия и др.)	0,025	10	96,8 - 97,7

Объём сгустителя  $W_{сг}$ , м<sup>3</sup>, следует определять по формуле

$$W_{сг} = 1,3K_{р.о} \cdot W_{ос.ч}, \quad (228)$$

где  $K_{р.о}$  – коэффициент разбавления осадка при выпуске из сооружений подготовки воды, см. расчет отстойника;

$W_{ос.ч}$  – объём осадочной части сооружения подготовки воды, м<sup>3</sup>.

Число сгустителей необходимо принимать из условий обеспечения периодического приема осадка в соответствии с режимом удаления его из сооружений и длительностью цикла сгущения.

На станциях одноступенчатого фильтрования и обезжелезивания воды сгустители допускается применять в качестве отстойников промывных вод.

Подачу осадка к сгустителем, как правило, следует предусматривать

самотеком. Для подачи сгущенного осадка на сооружения механического обезвоживания рекомендуется принимать монжусы или насосы плунжерного типа.

Гидравлический расчет трубопроводов следует производить с учетом свойств транспортируемого осадка.

#### **Накопители.**

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

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

Объем накопителя  $W_{\text{нак}}$ , м<sup>3</sup>, надлежит определять по формуле

$$W_{\text{нак}} = 0,867 \cdot q \cdot C_e / [1/(100 \cdot P_{oc1}) \cdot \rho_1 + 1/(100 \cdot P_{oc2}) \cdot \rho_2 + \dots + 1/(100 \cdot P_{ocn}) \cdot \rho_n], \quad (229)$$

где  $q$  – расчетный расход воды станции водоподготовки, м<sup>3</sup>/ч;

$C_e$  – среднегодовая концентрация взвешенных веществ в исходной воде, г/м<sup>3</sup>, определяемая по формуле (89);

$P_{oc1}, \dots, P_{ocn}$  – соответственно средние значения влажности в процентах, принимаемые по данным эксплуатации накопителей в аналогичных условиях, а при их отсутствии по рисункам 52 и 53.

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  – плотности т/м<sup>3</sup> осадка первого, ..., n года уплотнения осадка, принимаемые по данным эксплуатации накопителей в аналогичных условиях, а при их отсутствии по рисункам 52 и 53.

Число секций накопителя должно приниматься не менее двух, работающих попеременно по годам, при этом напуск осадка следует предусматривать в одну секцию в течении года с удалением осветленной воды. В остальных секциях в это время будет происходить обезвоживание и уплотнение ранее поданного осадка замораживанием в зимний период и подсушиванием в зимний период при его уплотнении.

Устройства для подачи осадка и отвода воды следует предусматривать на противоположных сторонах накопителей.

Расстояния между устройствами для подачи осадка надлежит принимать не более 60 м.

Конструкция устройств для отвода воды должна обеспечивать ее отвод с любого уровня по глубине накопителей

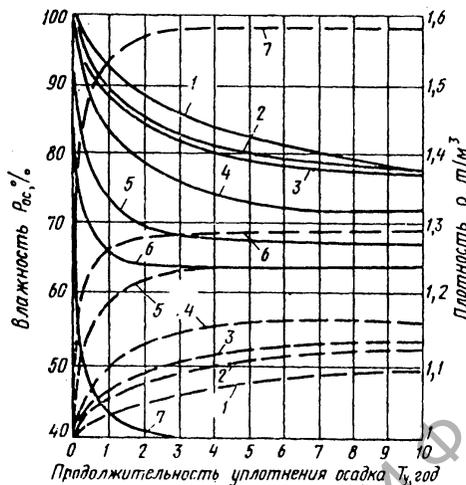


Рисунок 52 – Средние значения влажности и плотности осадка станций осветления и обезжелезивания воды при многолетнем уплотнении

Количество взвешенных веществ в исходной воде  $M$ , мг/л; реагенты  $R$ :

- 1 –  $M < 50$ ;  $R - Al_2(SO_4)_3$ ; 2 –  $M < 50$ ;  $R - Al_2(SO_4)_3 + ПАА$ ; 3 –  $M < 50$ ;  $R - Al_2(SO_4)_3 + ПАА + Ca(OH)_2$ ; 4 –  $M = 50 - 250$ ;  $R - Al_2(SO_4)_3$ ; 5 –  $M = 250 - 1000$ ;  $R - Al_2(SO_4)_3$ ; 6 –  $M = 1000 - 1500$ ;  $R - Al_2(SO_4)_3$ ; 7 –  $M > 1500$ ;  $R - ПАА$  или безреагентная очистка

Влажность дана сплошной линией, плотность - пунктиром.

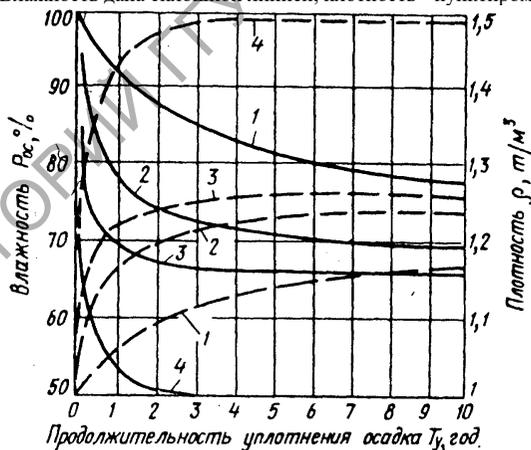


Рисунок 53 – Средние значения влажности и плотности осадка станций обезжелезивания или реагентного умягчения воды при многолетнем уплотнении  
1 – реагентное обезжелезивание; 2 – безреагентное обезжелезивание; 3 – реагентное умягчение при магневой жесткости более 25%; 4 – реагентное умягчение воды при магневой жесткости

менее 25%.

Влажность дана сплошной линией, плотность пунктиром.

### **Площадки замораживания.**

Площадки замораживания для обезвоживания осадка следует предусматривать в районах с периодом устойчивого мороза не менее 2 месяцев в году с последующем вывозом осадка через 1-3 года с места складирования.

Общую полезную площадь площадок замораживания  $F_{пл.з}$  следует определять по формуле

$$F_{пл.з.} = F_{в} + F_{л.о} + F_{з}, \text{ м}^2, \quad (230)$$

где  $F_{в}$  – площадь площадок,  $\text{м}^2$ , определяемая по зеркалу осадка при заполнении площадок на половину глубины для весеннего напуска осадка;

$F_{л.о}$  – площадь площадок,  $\text{м}^2$ , определяемая по зеркалу осадка при заполнении площадок на половину глубины для летне-осеннего напуска осадка;

$F_{з}$  – площадь площадок,  $\text{м}^2$ , определяемая по зеркалу осадка при заполнении площадок на половину глубины для зимнего напуска осадка

Полезную площадь площадок для весеннего и летнеосеннего напусков следует определять из условия образования на площадках за эти периоды слоя осадка, равного глубине его промерзания  $H_{np}$  в зимний период, определяемой по формуле

$$H_{np} = 0,017 \cdot \sqrt{\sum t}, \text{ м}, \quad (231)$$

где  $\sum t$  – сумма абсолютных значений отрицательных среднесуточных температур воздуха за период устойчивого мороза,  $^{\circ}\text{C}$ , принимаемая по данным ближайшей метеорологической станции.

В зависимости от местных условий и размеров площадок допускается предусматривать их секционирование.

Объем уплотненного осадка  $W_{oc}$  на площадках весеннего и летне-осеннего напусков следует определить по формуле

$$W_{oc}^{6..л.о} = 24 \cdot 10^{-4} \cdot q \cdot C_{г} \cdot T_{y} / (100 - P_{oc}) \cdot \rho, \text{ м}^3, \quad (232)$$

где  $q$  – расчетный расход воды станции водоподготовки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$C_{г}$  – средняя за расчетный период концентрация взвешенных веществ в воде,  $\text{г}/\text{м}^3$ , определяемая по формуле (89);

$T_{y}$  – продолжительность расчетного периода, сут, принимаемая: для

весеннего периода – от окончания периода устойчивого мороза до наступления периода положительной температуры (через 1 мес. после наступления среднесуточной температуры воздуха выше 0°C для районов с периодом устойчивого мороза менее 3 мес. и через 2 мес. – для районов с периодом устойчивого мороза более 3 мес.); для летне-осеннего периода – до наступления периода устойчивого мороза;

$P_{ос}$  – средние значения влажности осадка в процентах весеннего или летне-осеннего периодов, принимаемые по рисункам 54, 55, 56, 57 в зависимости от продолжительности уплотнения осадка, определяемой от середины весеннего или летне-осеннего периодов до наступления периода устойчивого мороза;

$\rho$  – плотности  $t/m^3$ , осадка весеннего или летне-осеннего периодов, принимаемые по рисункам 54, 55, 56, 57 в зависимости от продолжительности уплотнения осадка, определяемой от середины весеннего или летне-осеннего периодов до наступления периода устойчивого мороза.

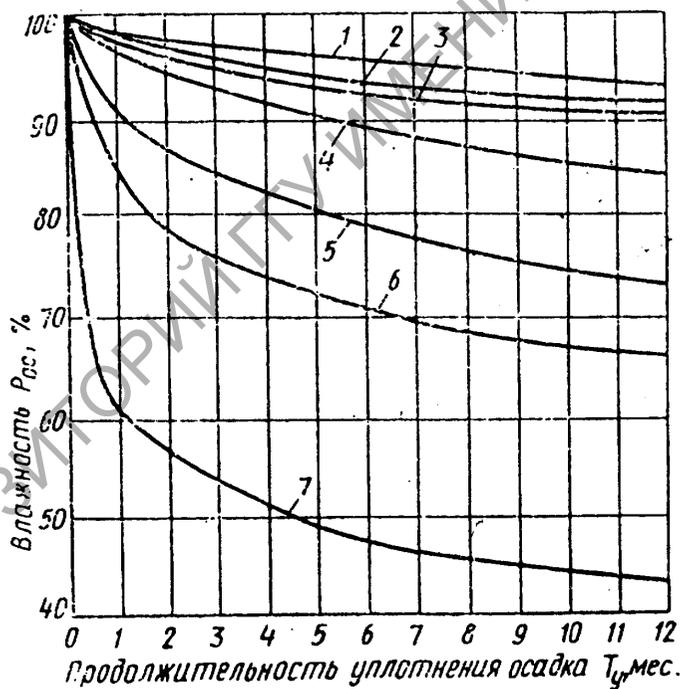


Рисунок 54 – Средние значения влажности осадка станций осветления и обезжелезивания воды при уплотнении до одного года.

Количество взвешенных веществ в исходной воде  $M$ , мг/л; реагенты - R:  
 1 -  $M < 50$ ; R -  $Al_2(SO_4)_3$ ; 2-  $M < 50$ ; R -  $Al_2(SO_4)_3$ +ППА; 3 -  $M < 50$ ; R -  
 $Al_2(SO_4)_3$ +ПАА+CA(OH)<sub>2</sub>; 4 -  $M = 50 - 250$ ; R -  $Al_2(SO_4)_3$ ; 5 -  $M = 250 - 1000$ ; R -  $Al_2(SO_4)_3$ ; 6 -  
 $M = 1000 - 1500$ ; R -  $Al_2(SO_4)_3$ ; 7 -  $M > 1500$ ; R - ППА или безреагентная очистка

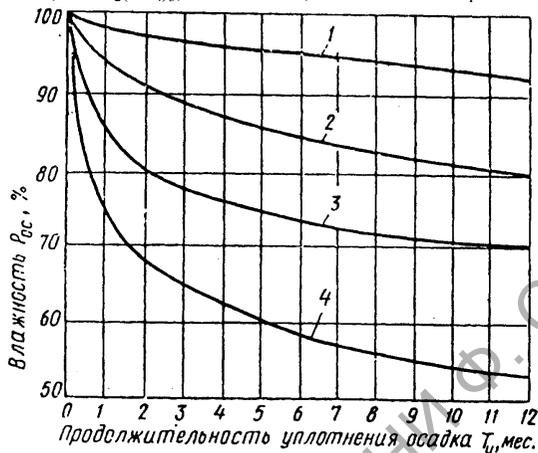


Рисунок 55 – Средние значения влажности осадка станции обезжелезивания и реагентного умягчения воды при уплотнении до одного года.

1 – реагентное обезжелезивание; 2 – безреагентное обезжелезивание; 3 – реагентное умягчение при магневой жесткости более 25 %; 4 – реагентное умягчение при магневой жесткостименее 25%

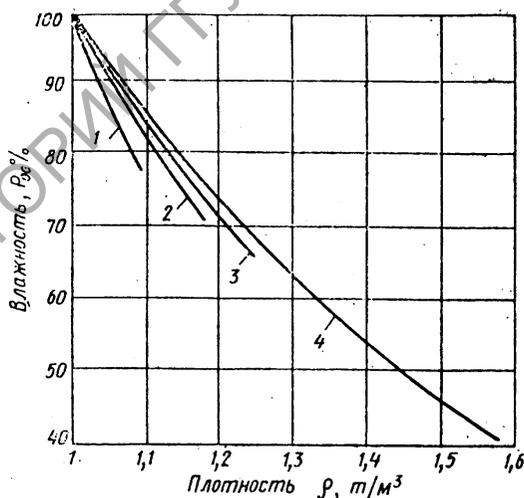


Рисунок 56 – Значения плотности в зависимости от влажности осадка станций осветления и обесцвечивания воды.

Количество взвешенных веществ в исходной воде – М, мг/л; реагенты – R:  
 1 –  $M < 50$ ; R –  $Al_2(SO_4)_3$ ; 2 –  $M < 50$ ; ( $M = 50 - 250$ ). R –  $Al_2(SO_4)_3$  + ПАА; R –  $Al_2(SO_4)_3$ ; 3 –  $M < 250 - 1000$ ; R –  $Al_2(SO_4)_3$ ; 4 –  $M = 1000 - 1500$ ; R –  $Al_2(SO_4)_3$ ;

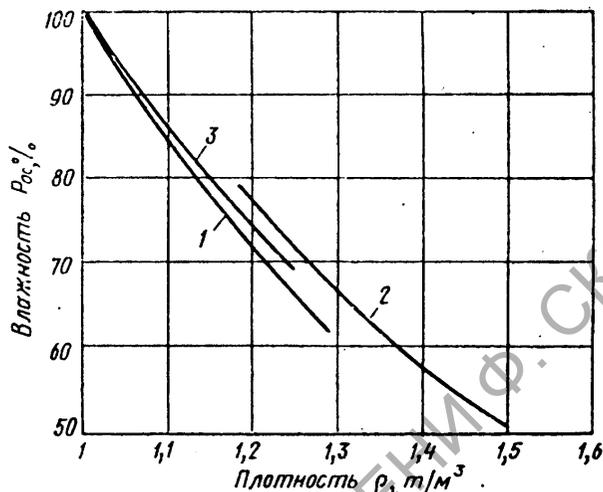


Рисунок 57 – Значения плотности в зависимости от влажности осадка станций обезжелезивания и реагентного умягчения воды.

1 – реагентное умягчение воды при магнeйской жесткости более 25 %; 2 – реагентное умягчение воды при магнeйской жесткости менее 25 %; 3 – реагентное и безреагентное обезжелезивание воды

Полезную площадь площадки для зимнего напуска следует определять из условия размещения объема осадка, поступившего в период устойчивого мороза, без учета уплотнения осадка на площадке.

Площадку для зимнего напуска осадка надлежит предусматривать секционной.

Площадь одной секции следует принимать в зависимости от объема осадка, выпускаемого из сооружений, и слоя осадка  $H_n$  при одном напуске, принимаемого равным 0,07-0,1 м.

Число секций надлежит принимать в зависимости от продолжительности промораживания принятого слоя осадка и числа выпусков осадка из сооружений за время промораживания.

Расчетная температура воздуха для определения продолжительности промораживания слоя осадка (рисунок 58) должна приниматься по месяцу с наиболее высокой среднесуточной температурой в период устойчивого мороза.

Слой осадка на каждой секции площадки зимнего напуска  $H_{зим}$  надлежит определять как сумму последовательно намороженных слоев осадка за

период устойчивого мороза.

$$H_{\text{зим}} = H_n \cdot n_n, \text{ м}, \quad (233)$$

где  $n_n$  – число напусков осадка на одну секцию за период устойчивого мороза, определяемое по формуле

$$n_n = K_M \cdot S / \tau_n, \quad (234)$$

где  $K_M$  – коэффициент, учитывающий неполное использование периода устойчивого мороза, принимаемый равным 0,8;

$S$  – количество суток в периоде устойчивого мороза;

$T_0$  – продолжительность промораживания слоя осадка в сутках, определяемая по рисунку 58 в зависимости от среднесуточной отрицательной температуры воздуха  $t, ^\circ\text{C}$ , за каждый месяц периода устойчивого мороза.

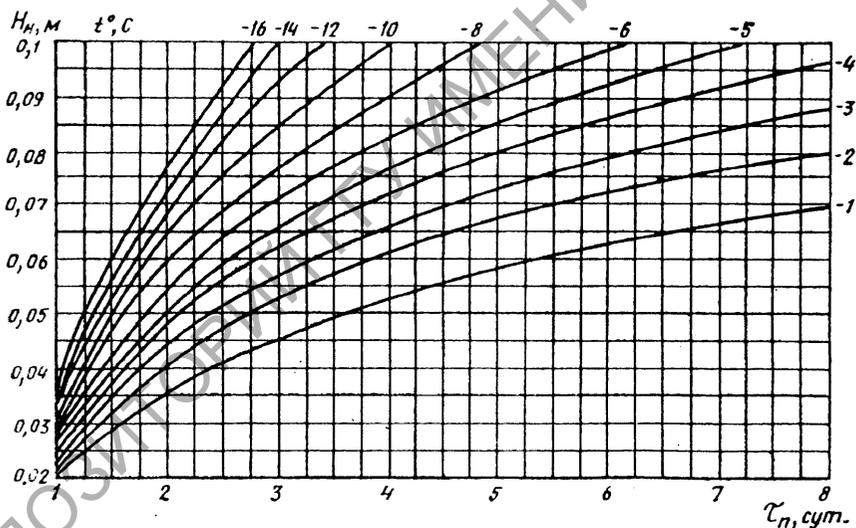


Рисунок 58 – Зависимость глубины промораживания слоя осадка от среднесуточной температуры воздуха и продолжительности промораживания.

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

При необходимости следует предусматривать устройство для отвода

грунтовых вод и поверхностных вод.

Подачу осадка к площадкам и секциям надлежит предусматривать по трубопроводам.

Напуск осадка на площадки и секции следует предусматривать открытыми лотками, проложенными вдоль их длинной стороны. Уклон лотков надлежит принимать не менее 0,01.

Устройства для напуска осадка на площадки (секции) и отвода осветленной воды следует предусматривать на противоположных сторонах на расстоянии не более 40 м. Расстояния между устройствами для напуска осадка, а также отвода осветленной воды, должны быть не более 30 м.

Устройства для подачи осадка не должны допускать размывания основания площадок или слоя замерзшего осадка.

Устройства для отвода осветленной воды должны обеспечивать удаление воды с любого уровня по глубине площадок.

Строительную высоту оградительных валиков площадок (секций) замораживания  $H_{стр}$ , надлежит определять по формуле

$$H_{стр} = N_{нак} \cdot W_{ос}^2 / F_{пл.з} + H_z + 0,2, \text{ м}, \quad (235)$$

где  $N_{нак}$  – число лет накапливания уплотненного осадка;

$W_{ос}^2$  – годовой объем уплотненного осадка, м<sup>3</sup>, влажностью 70%;

$F_{пл.з}$  – общая площадь площадок замораживания, м<sup>2</sup>;

$H_z$  – слой неуплотненного осадка, м, за последний год перед вывозом осадка.

#### ***Площадки подсушивания.***

В южных районах, где в период устойчивого дефицита влажности величина дефицита составляет 800 мм и более, обезвоживание осадка допускается предусматривать на площадках подсушивания путем уплотнения его под действием силы собственной массы и высушивания на открытом воздухе с последующим вывозом осадка через 1-3 года в места складирования.

Общая полезная площадь площадок подсушивания осадка  $F_{пл.п}$ , должна определяться по формуле

$$F_{пл.п} = F_{з.в} + F_{л}, \text{ м}^2, \quad (236)$$

где  $F_{з.в}$  – площадь площадок подсушивания для зимне-весеннего напуска осадка, м<sup>2</sup>;

$F_{л}$  – то же, но для летнего напуска осадка, м<sup>2</sup>.

Полезную площадь площадок для напуска осадка в зимне-весенний

период  $F_{3.6}$ , следует определять по формуле

$$F_{3.6} = 1000 \cdot W_{oc}^{36} / 0,75 \cdot (E_z - A_z), \text{ м}^2, \quad (237)$$

где  $E_z$  – количество воды, испарившейся за год со свободной поверхности, мм;

$A_z$  – годовое количество осадков, мм;

$W_{oc}^{36}$  – объем осадка в зимне-весенний период, м<sup>3</sup>, определяемый по формуле

$$W_{oc}^{36} = W_{oc}' - W_g, \quad (238)$$

где  $W_{oc}'$  – объем осадка, м<sup>3</sup>, выпускаемого на площадку в течение зимне-весеннего периода со средней влажностью  $P'_{oc}$ , %;

$W_g$  – объем воды, м<sup>3</sup>, выделившийся из осадка в результате его уплотнения на площадках, определяемый по формуле

$$W_g = W_{oc}' \cdot [1 - (100 - P'_{oc}) / (100 - P_{oc})], \quad (239)$$

где  $P_{oc}$  – влажность осадка, уплотнившегося на площадках за время зимне-весеннего периода, определяемая по рисункам 45, 55;

$P_{oc}$  – влажность осадка, %, принимаемая при выпуске осадка из стугителей по таблице 37, из отстойников и осветлителей по формуле

$$P_{oc} = 100(\rho_{mв} - \delta) / (\rho_{mв} - \delta + \rho_{mв} \delta), \quad (240)$$

где  $\rho_{mв}$  – средняя плотность твердой фазы в осадке, принимаемая от 2,2 до 2,6 т/м<sup>3</sup>;

$\delta$  – концентрация твердой фазы в осадке, т/м<sup>3</sup>, принимаемая по таблице 23 с учетом разбавления осадка при его выпуске.

Значение  $E_z$  следует определять по формуле

$$E_z = 0,15 \cdot T_0 \cdot (l_0 - l_{200}) \cdot (1 + 0,72 \cdot v_{200}), \text{ мм}, \quad (241)$$

где  $T_0$  – суммарное число дней в году, характеризующихся дефицитом влажности;

$l_0$  – средняя упругость насыщенных водяных паров, соответствующая температуре осадка, миллибар;

$l_{200}$  – средняя упругость насыщенных водяных паров, соответствующая абсолютной влажности воздуха на высоте 200 см от водной

поверхности, миллибар, принимается по данным метеорологической станции;

$v_{200}$  – средняя скорость ветра на высоте 200 см, м/с.

Полезную площадь площадок для напуска осадка в летний период следует определять по формуле (237), при этом значения  $E_T$  и  $A_T$  надлежит принимать усредненными за период устойчивого дефицита влажности.

Время от момента напуска осадка на площадку до начала удаления выделившейся из осадка воды следует принимать 4 - 5 сут.

Объем уплотненного осадка летнего напуска надлежит определять по формуле (238) аналогично для зимне-весеннего напуска, принимая влажность и плотность осадка по рис. 3 - 6.

В зависимости от местных условий и размеров площадок подсушивания допускается их секционирование.

Устройства для напуска осадка следует проектировать аналогично площадкам замораживания.

Строительную высоту оградительных валиков площадок подсушивания следует определять по формуле (235).

## 6.12 Адсорбционные фильтры для глубокой очистки воды

Адсорбция применяется в тех случаях, когда необходимо удалить из очищаемой воды находящиеся в растворенном виде примеси природного и антропогенного происхождения, в том числе для удаления из воды хлорорганических соединений и продуктов озонлиза.

Наиболее распространенным адсорбентом в практике водоочистки является активированный уголь.

Гранулированный активный уголь следует применять в качестве загрузки сорбционных фильтров, располагаемых после осветлительных фильтров или других сооружений, обеспечивающих очистку воды от взвеси до 1,5 мг/л.

При обосновании допускается применять совмещенные осветлительно-сорбционные фильтры.

Высота угольной загрузки  $H_{y.z}$  должны приниматься не менее

$$H_{y.z} = v_{p.ф} \tau_y / 60, \text{ м}, \quad (242)$$

где  $v_{p.ф}$  – расчетная скорость фильтрования, принимаемая 10-15 м/ч;

$\tau_y$  – время прохождения воды через слой угля, принимаемое 10-15 мин в зависимости от сорбционных свойств угля, концентрации и вида загрязнений воды и других факторов и уточняемое технологическими изысканиями.

Для загрузки сорбционных фильтров следует применять гранулированные активные угли марок АГЗ, АГМ и других с учетом требований.

Интенсивность промывки водой сорбционной загрузки фильтра следует принимать в зависимости от требуемого относительного расширения активного угля по таблице 38.

**Таблица 38 – Основные характеристики адсорбционных фильтров**

Тип активного угля	Требуемая величина относительного расширения загрузки, %	Интенсивность промывки фильтров, л/(с·м <sup>2</sup> )	Продолжительность промывки фильтров, мин
АГ - 3	25	12 - 14	8 - 7
	35	14 - 16	7 - 6
	45	16 - 18	6 - 5
АГ - М	30	8 - 9	12 - 10
	45	9 - 10	10 - 8
	60	11 - 12	8 - 7

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до кромок желобов надлежит определять согласно формуле (195).

Определение потери напора в сорбционном слое из активного угля, расчет и конструирование распределительной системы устройств для подачи промывной воды, желобов и других элементов сорбционных фильтров следует производить согласно формулам (174-204).

**Таблица 39 – Подбор технологических характеристик сорбционного слоя стационарного адсорбера в зависимости от вида и концентрации присутствующих в воде антропогенных загрязнений**

Виды антропогенных загрязнений	Размеры их молекул, нм	Предпочтение типов пор в углях	Рекомендуемый тип сорбента	Крупность гранул, мм	Время контакта, мин
Азот аммонийный	0,63	микропоры, супермикропоры	ЛГ-3, МАУ-100	0,5-1,5	10-11
				0,5-1,0	11-12
Фенолы	0,71	микропоры, супермикропоры	АГ-3, МАУ-100	0,5-1,5	10-11
				0,5-1,0	11-12
Нефтепродукты	1,8	мезопоры	СГН-30	0,5-1,5	15-16
				0,5-1,0	16-17
СПАВ	2,4	мезопоры	СГН-30	0,5-1,5	15-16
				0,5-1,0	16-17
Азот аммонийный, фенол	0,63-0,71	микропоры, супермикропоры	АГ-3, МАУ-100	0,5-1,5	10-11
				0,5-1,0	11-12
Нефтепродукты, СПАВ	1,8-2,4	мезопоры	СГН-30	0,5-1,5	15-16
				0,5-1,0	16-17

Азот аммонийный, фенол, нефтепродукты, СПАВ	0,63-2,4	микропоры, супермикропоры, мезопоры	АГ-3, МАУ- 100	0,5-1,5	15-16
				0,5-1,0	16-17

Регенерацию сорбционной загрузки фильтра производят 5%-ным раствором NaOH или путем прокаливания угля при температуре 700-750<sup>0</sup>C в отсутствие воздуха.

Исследование электроимпульсного метода регенерации показало, что весьма эффективным является воздействие на уголь после сорбции органических веществ высоковольтного электрического разряда при напряжении 300-500 В и частоте импульсов 25-30 Гц. Уголь при этом помещается в реактор с дистиллированной (водопроводной) водой (рисунок 59).

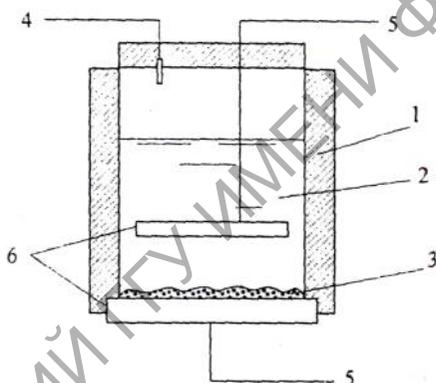


Рисунок 59 – Схема реактора для регенерации угля методом высоковольтного электрического разряда

1 – реактор; 2 – вода (раствор); 3 – уголь; 4 – газоотвод; 5 – токоподводы; 6 – медные электроды

Как следует из таблицы 40, электроимпульсный метод позволяет не только практически полностью регенерировать уголь, но также (при необходимости) существенно увеличивать объем его сорбционного пространства.

Применение для глубокой очистки воды стационарных адсорберов обосновано на водоочистных станциях, где в обрабатываемой воде постоянно присутствуют повышенные концентрации веществ антропогенного происхождения. В случае их периодического появления в источнике водоснабжения целесообразно и более рационально применение

одноразового в течение фильтроцикла ввода сорбентов в обрабатываемую воду в соответствии с видом и количеством присутствующих в воде примесей.

В настоящее время разработана конструкция осветлительно-сорбционного фильтра (ОСФ) с комбинированной пенополистирольно-угольной загрузкой, которая позволяет менять режим работы фильтра в зависимости от качества исходной воды.

**Таблица 40 – Регенерация отработанного активированного угля АР-В электроимпульсным методом**

Время, ч	Условия регенерации		Степень регенерации, %
	Напряжение, В	Частота, Гц	
Уголь после рекуперации этилацетата			
1	300	10	77
1	800	10	91
2	250	10	95
2	300	25	100
2	300	50	100
3	300	10	100
3	600	10	100

### 6.13 Биосорберы

В условиях сильного антропогенного загрязнения водоисточников существующие традиционные схемы водоподготовки не в состоянии обеспечить требуемое качество питьевой воды. Для повышения барьерной эффективности очистных сооружений и предварительного удаления из воды специфических загрязнений, в НИИ ВОДГЕО разработан новый биотехнологический метод очистки природных и сточных вод от загрязнений природного и антропогенного характера - биосорбция. Принцип работы биосорбе-ра заключается в совмещении в пространстве и во времени процессов сорбции загрязнений с их биологическим окислением.

Механизм этого процесса протекает через стадии: адсорбция загрязнений из воды в микропористой структуре сорбента, биохимическая модификация адсорбированных трудноокисляемых веществ в биоразлагаемую форму экзоферментами, иммобилизованными в этой же структуре, десорбцию биоразлагаемых модифицированных продуктов на поверхность частиц сорбента, биологическое окисление биоразлагаемых продуктов микроорганизмами биопленки на поверхности частиц сорбента. Этот процесс обеспечивает постоянную биологическую регенерацию сорбента и исключает необходимость его периодической термической регенерации или замены.

Результаты проведенных в НИИ ВОДГЕО исследований

продемонстрировали высокую эффективность биосорбентов по удалению из реальной воды природных загрязнений и веществ антропогенного характера, показана «барьерная роль» биосорбентов в моменты резкого увеличения концентрации основных загрязнений в паводковый период или при различных аварийных ситуациях. Специализированные эксперименты на речной воде в реальных условиях показали, достаточно высокую эффективность биосорбционных процессов при температуре исходной воды, не превышающей 1-3 °С. Это дает возможность использовать биосорбенты в схемах водоподготовки в климатических условиях РБ.

Наиболее перспективно применять биосорбенты на стадии предочистки при дальнейшей обработке воды по традиционной схеме. Использование биосорбентов на начальной стадии очистки позволит снизить уровень природных загрязнений и удалить такие специфические загрязнения как нефтепродукты, СПАВ, хлорорганические и фосфорорганические соединения. Одним из ограничивающих параметров применения биосорбентов для очистки природных вод является мутность обрабатываемой воды (100-150 мг/л).

Конструктивно (рисунок 60) биосорбент представляет собой вертикальную колонну, снабженную водосборной и водораспределительными системами, при этом водораспределительная система биосорбента соединена с аэрационной колонной. В зависимости от местных условий биосорбент может работать как однопроходное сооружение или может быть снабжен циркуляционным контуром с насосом.

Очищаемая вода поступает в аэрационную колонну (2), где происходит ее насыщение кислородом воздуха, затем поток жидкости поступает в нижнюю водораспределительную систему биосорбента (1), равномерно распределяется по площади сооружения и поднимается вверх со скоростью, обеспечивающей псевдооживление загрузочного материала. Это создает оптимальные условия для интенсивного протекания процессов развития иммобилизованных микроорганизмов и биологическую окисления органических загрязнений. Развитая поверхность гранулированного активированного угля способствует увеличению биомассы микроорганизмов в сооружении, что в свою очередь, обеспечивает высокую производительность установки и стабильность работы. Время обработки воды на биосорбентах составляет 15-25 минут.

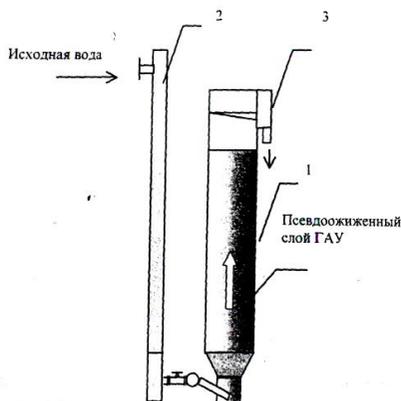


Рисунок 60 – Принципиальная схема биосорбера

1 – биосорбер, 2 – аэрационная камера; 3 – отвод очищенной воды

Пройдя сквозь взвешенный слой, поток жидкости достигает водосборного устройства, собирается с поверхности сооружения и отводится (в зависимости от местных условий) к циркуляционному насосу или на последующие стадии очистки.

Наиболее перспективным является применение биосорберов большой высоты, что позволяет отказаться от необходимости использования циркуляционных насосов. В этом случае биосорберы, установленные в голове существующих сооружений водоподготовки, работают без рециркуляции.

Основу технологического расчета биосорбера составляет определение требуемого количества активированного угля  $P_{\text{угля}}$ , т, на базе экспериментально определенной удельной скорости окисления по заданным лимитирующим показателям (окисляемость азота аммонийный или другие лимитирующие компоненты) в зависимости от требований, предъявляемых к качеству очищенной воды.

$$P_{\text{угля}} = \frac{(L_{\text{ex}} - L_{\text{en}}) \cdot Q}{1000 \cdot r}, \text{ т}, \quad (243)$$

где  $Q$  - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/час;

$r$  – удельная скорость окисления, определяется экспериментально, мг/г угля в сутки;

$L_{\text{ex}}$  – концентрация загрязнений (окисляемость азота аммонийного и др. специфических компонентов) в исходной воде, мг/л;

$L_{\text{en}}$  – концентрация загрязнений (окисляемость азота аммонийного и

других специфических компонентов) в очищенной воде, мг/л.

С учетом этих данных определяются основные конструктивные параметры сооружения (объем, высота, площадь реактора).

Основным условием эффективного протекания биосорбционных процессов является хороший массообмен, который обеспечивается созданием однородного, устойчивого псевдооживленного слоя загрузки. Качественной характеристикой псевдооживленного слоя является его степень расширения. Результаты исследований проведенных в НИИ ВОДГЕО, показали, что оптимальная степень расширения составляет 40-45%. Зная степень расширения и выбрав марку применяемого типа угля по графикам на рисунке 61 определяют скорость восходящего потока, количество угля, скорость потока и его степень расширения позволяют рассчитать высоту и диаметр биосорбционной колонны. Конструкция аэрационной противоточной колонны рассчитывается исходя из потерь напора в биосорбционной колонне и скорости противотока (нисходящее движение воды), принимаемой 0,1 м/с. Потери напора в биосорбционной колонне складываются из потерь напора в слое угля (принимается согласно данным на рисунке 61), а также общих потерь напора в узлах сооружения.

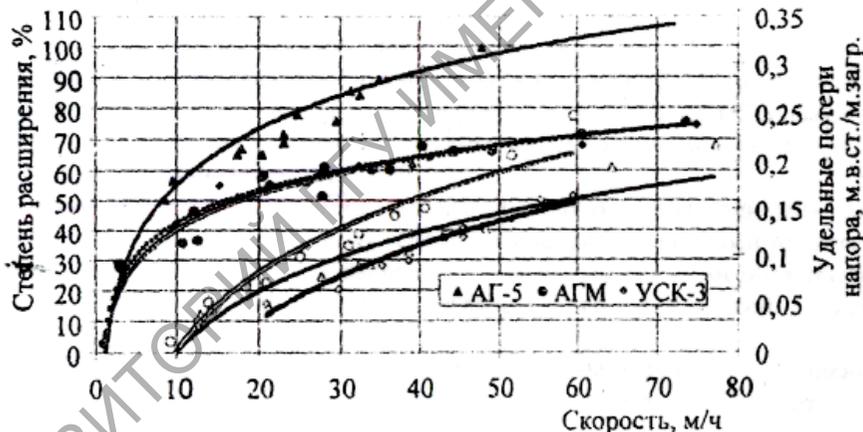


Рисунок 61 – Зависимость степени расширения и удельных потерь напора от скорости восходящего потока для различных углей

Применение биосорберов позволит:

- получить гарантированное качество очистки как от традиционных загрязнений (окисляемость, цветность и др.), так и специфических (нефтепродукты, хлорорганические и фосфорорганические вещества, в том числе, железо, марганец);
- обезопасить очистные сооружения и потребителя в моменты залповых поступлений различных видов токсичных и канцерогенных веществ;

- снизить нагрузку на сооружения водоподготовки в паводковый период;
- уменьшить расход реагентов, используемых на последующих стадиях обработки;
- снизить расход хлорсодержащего реагента, используемого на стадии обеззараживания.

## 6.14 Методы обезжелезивание воды

### Основные сведения об обезжелезивании воды

В природных водах может присутствовать двухвалентное (закисное) или трехвалентное (окисное) железо. Наиболее часто в воде подземных источников железо встречается в виде бикарбоната закиси железа  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , т. е. двууглекислого железа.

В воде поверхностных источников железо содержится обычно в форме органических соединений, преимущественно коллоидных, например гуминовокислого железа.

В речных водах, загрязняемых кислыми стоками (например, шахтными водами), встречается сульфат закиси железа  $\text{FeSO}_4$ . Благодаря наличию растворенного кислорода в речной воде происходит окисление двухвалентного железа в трехвалентное.

При одновременном содержании железа и сероводорода в воде появляется тонкодисперсная взвесь сульфида железа  $\text{FeS}$ .

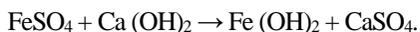
Из подземных вод двухвалентное железо может быть устранено при помощи аэрации воды. Надо отметить, что двууглекислого железа в воде частично гидролизуется, теряя углекислоту,



Интенсивное выделение  $\text{CO}_2$  идет при аэрации воды, которая достигается путем разбрызгивания ее на контактных или вентиляторных градирнях. Это создает благоприятные условия для полного гидролиза  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ . Гидрат закиси железа  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , соединяясь с кислородом, превращается в коллоидную гидроокись железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , которая при коагулировании переходит в окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , выпадающую в виде бурых хлопьев. Поэтому после аэрации нужно пропускать воду через контактные резервуары и фильтры.

Если в воде содержится сернокислое железо  $\text{FeSO}_4$ , то при аэрации такой воды не достигается ее обезжелезивание, так как при гидролизе растворенной соли железа образуется угольная кислота, понижающая рН воды до величины, меньшей 6,8, при которой гидролиз почти прекращается.

Поэтому из воды  $\text{CO}_2$  удаляется путем ее известкования согласно уравнению



После известкования необходимы отстаивание и фильтрование воды.

Железо, содержащееся в воде в виде коллоида гидроксида железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  или в виде коллоидальных органических соединений (гуматы железа), может быть удалено при помощи коагулирования серноокислым алюминием или железным купоросом с добавкой хлора или извести.

Чтобы установить наиболее экономичный для данной воды способ обезжелезивания, надо произвести пробное удаление железа.

Обезжелезивание воды для хозяйственно-питьевых нужд производят при содержании в исходной воде железа в количестве более 0,3 мг/л, при этом специальные установки предусматриваются только в тех случаях, когда железо не может быть удалено попутно при обработке воды на других очистных сооружениях.

Таблица 41 – Методы обезжелезивания воды

№ п/п	Метод обезжелезивания	Область применения	Состав сооружений (установок)	Сущность метода обезжелезивания
1	2	3	4	5
1. Безреагентные методы: $\text{pH}_{\text{исх}} > 6,7$ ; щелочность (Щ) $> 1,5$ мг-экв/л; перманганатная окисляемость (ПО) $< 9,5$ мг $\text{O}_2$ /л; $\text{Fe}(\text{III}) < 10\% \text{Fe}_{\text{общ}}$ ; $\text{CO}_2 < 80$ мг/л; $\text{H}_2\text{S} < 2,0$ мг/л				
1	Фильтрование на каркасных фильтрах	$F_{\text{общ}}$ до 5 мг/л, $\text{Fe}(\text{II})$ в карбонатной или бикарбонатной форме до 3 мг/л, $Q$ до 1000 м <sup>3</sup> /сут	Оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания; скорый каркасно-засыпной фильтр	Для обезжелезивания воды на каркасных фильтрах характерны два процесса: «зарядка» фильтра путем намывания на керамическом патроне слоя гидроксида железа, образующегося в результате окисления $\text{Fe}^{2+}$ , и фильтрования с целью обезжелезивания воды

2	«Сухая» филтpация (pисунок 62a)	Fe <sub>общ</sub> до 5 мг/л	Оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания ; скорый филтp	Сущность метода "сухой" филтpации заключается в филтpовании аэрированной воды через незатопленную филтpующую загрузку, на зернах которой формируется адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа (марганца), способствующая эффективности дальнейших процессов обезжелезивания. Процесс обезжелезивания этим методом характеризуется минимальным периодом «зарядки» филтpующей загрузки, высокой грязеемкостью, повышением pH и незначительным снижением жесткости
---	--	-----------------------------	---	--

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5
3	Упрощенная аэрация с одноступенчатым филтpованием (pисунок 62б)	Fe <sub>общ</sub> до 10 мг/л, F(II) -70%, E ≥ +100мВ; J > + 0,05 для воды после аэрации $Щ \geq 1 + \frac{Fe^{2+}}{28}$ ограниченное применение при наличии органики и аммонийного азота $\alpha > 0,10-0,20$	Бак-аэратор или устройство для свободного излива воды; скорый филтp; оборудование для обеззараживания воды	Метод основан на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при филтpовании через слой филтpующей загрузки выделять железо на поверхности зерен, образуя каталитическую пленку из ионов и оксидов двух- и трехвалентного железа. При работе филтpа происходит непрерывное обновление пленки, являющейся катализатором процесса обезжелезивания

4	Упрощенная аэрация с двухступенчатым фильтрованием (рисунок 62в)	Fe <sub>общ</sub> от 10 до 20 мг/л	Бак-аэратор или устройство для свободного излива; скорые фильтры I и II ступеней; оборудование для обеззараживания воды	см. поз. 3
5	Вакуумно-эжектионная аэрация с фильтрованием через загрузку большой грязеемкости (рисунок 62г)	Fe <sub>общ</sub> от 10 до 30 мг/л, ПО < 9,5 мгО <sub>2</sub> /л, H <sub>2</sub> S до 10 мг/л	Вакуумно-эжектионный аппарат; скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды	Метод основан на использовании двух процессов: мгновенного объемного вскипания воды в вакууме, сопровождаемого десорбцией CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S и др., и повышением pH воды в потоке эжектируемого воздуха, насыщение воды кислородом с одновременным достижением высоких скоростей окисления двухвалентного железа в трехвалентное. Удаление образовавшихся хлопьев гидроксида железа осуществляется фильтрованием воды на

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5
6	Вакуумно-эжектионная аэрация с тонкослойным отстаиванием или осветлением в слое взвешенного осадка и фильтрованием	Fe <sub>общ</sub> > 20 мг/л или при наличии H <sub>2</sub> S от 1 до 5 мг/л, pH > 6,4	Вакуумно-эжектионный аппарат; отстойник с тонкослойными модулями (осветлитель со взвешенным осадком); скорый фильтр; оборудование для обеззараживания	см. поз. 5

7	Обезжелезивание в пласте (рисунок д)	Fe <sub>общ</sub> до 5 мг/л, Mn(II) до 0,4 мг/л, pH ≥ 5	Устройства и оборудование для подсоса воздуха и закачки части воды в водоносный горизонт	Сущность метода обезжелезивания на установках типа «Ви-редокс» состоит в подаче -10% от общего расхода воды, насыщенной кислородом воздуха, обратно в водоносный горизонт через поглощающие скважины. В результате биохимических и химических процессов железо и марганец переходят в нерастворимую форму и выделяются в осадок.
2 Реагентные методы: низкие значения pH, высокая перманганатная окисляемость, нестабильность воды				
8	Фильтрация через модифицированную загрузку	Fe <sub>общ</sub> до 12 мг/л, Fe(II) в карбонатной или сернокислой форме до 10 мг/л; ПО до 15 мг/л	Скорый фильтр с модифицированной загрузкой; оборудование для подачи сжатого воздуха и обеззараживания воды	Метод основан на формировании на поверхности фильтрующей загрузки пленки из соединений, обладающих высокими адгезионными и электростатическими свойствами, что достигается путем последовательной обработки загрузки 1,5%-ным раствором сернокислого двухвалентного железа и 0,5%-ным раствором перманганата калия.

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

9	Упрощенная аэрация с обраткой сильным окислителем и фильтрованием через зернистую загрузку большой грязеемкости	$Fe_{\text{общ}}$ до 18 мг/л, $Fe(II)$ в карбонатной или сернистой форме до 15 мг/л; ПО до 15 мг/л	Аэратор; реagentное хозяйство; контактный фильтр КФ-5; оборудование для обеззараживания воды	При аэрации воды происходит удаление углекислоты, насыщение воды кислородом воздуха, что способствует повышению pH и частичному окислению двухвалентного железа. Полное разрушение комплексных соединений двухвалентного железа достигается путем введения в обрабатываемую воду окислителя и последующего фильтрования хлопьев гидроксида через фильтрующую загрузку
10	Известкование, напорная флотация с последующим фильтрованием	$Fe_{\text{общ}}$ более 15 мг/л; $Fe(II)$ в карбонатной или сернистой форме более 10 мг/л, ПО более 15 мг/л	Реagentное хозяйство; флотатор; оборудование для подготовки водо-воздушной смеси и обеззараживания воды; скорый фильтр	Сущность метода с использованием напорной флотации заключается в предварительном известковании воды; процессе слипания частиц гидроксида железа, ранее полученного в результате окисления $Fe^{2+}$ , с пузырьками тонкодиспергированного в воде воздуха и всплывания образующихся агрегатов на поверхность воды; фильтровании частично обработанной воды через зернистую загрузку.
11	Аэрация известкованием, тонкослойное отстаивание и фильтрование (рисунок е)	та же, что и в п. 10, $pH > 7$	Аэратор, реagentное хозяйство, камера хлопьеобразования встроенная в отстойник; скорый фильтр; оборудование для обеззараживания воды	Процесс обезжелезивания воды осуществляется путем аэрации воды, обработки ее щелочным реagentом, выделения соединений трехвалентного железа в тонком слое воды и доочистки на скорых фильтрах

Продолжение таблицы 41

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

12	Электрокоагуляция с барботированием, тонкослойное отстаивание и фильтрование	та же, что и в п. 10 при $Q < 200 \text{ м}^3/\text{сут}$	Электрокоагулятор; тонкослойный отстойник с камерой хлопьеобразования; скорый фильтр; оборудование для подачи сжатого воздуха	Этот метод аналогичен предыдущему. Отличие состоит в замене предварительного насыщения воды кислородом воздуха и известкования на электрокоагуляцию
13	Катионирование	При необходимости одновременного обезжелезивания и умягчения воды	Катионитовые фильтры; оборудование для подготовки регенерационного раствора	Метод основан на способности катионита поглощать ионы железа из воды в обмен на эквивалентное количество ионов катионита

### Проектирование и расчет аэрационных сооружений

К аэрационным устройствам, предназначенным для насыщения воды кислородом, удаления части свободной углекислоты, частичного окисления двухвалентного железа в трехвалентное, относятся вакуумно-эжекционные аппараты, градирни, брызгальные бассейны, баки-аэраторы.

Расчет аэрационных устройств производят в зависимости от способа осуществления аэрации (подача воздуха во всасывающий патрубок насоса; свободный излив воды с определенной высоты; инъекция или нагнетание воздуха в воду компрессором; разбрызгивание воды в воздухе в вакуумно-эжекционном аппарате и т.д.).

*Вакуумно-эжекционный аппарат* состоит из вакуумной камеры, обеспечивающей повышение величины рН воды путем мгновенного удаления свободной углекислоты и сероводорода, и коаксиально прикрепленных к ней эжекционных камер смешения. Внутри вакуумной камеры находится конически сходящийся насадок, переходящий в насадок Вентури.

Расчет вакуумно-эжекционного аппарата производится по схеме, представленной на рисунке 63, и заключается в определении следующих параметров: глубины вакуума в вакуумной камере, размеров насадка Вентури, производительности вакуумно-эжекционного аппарата, размеров вакуумной камеры и эжекционных камер смешения.

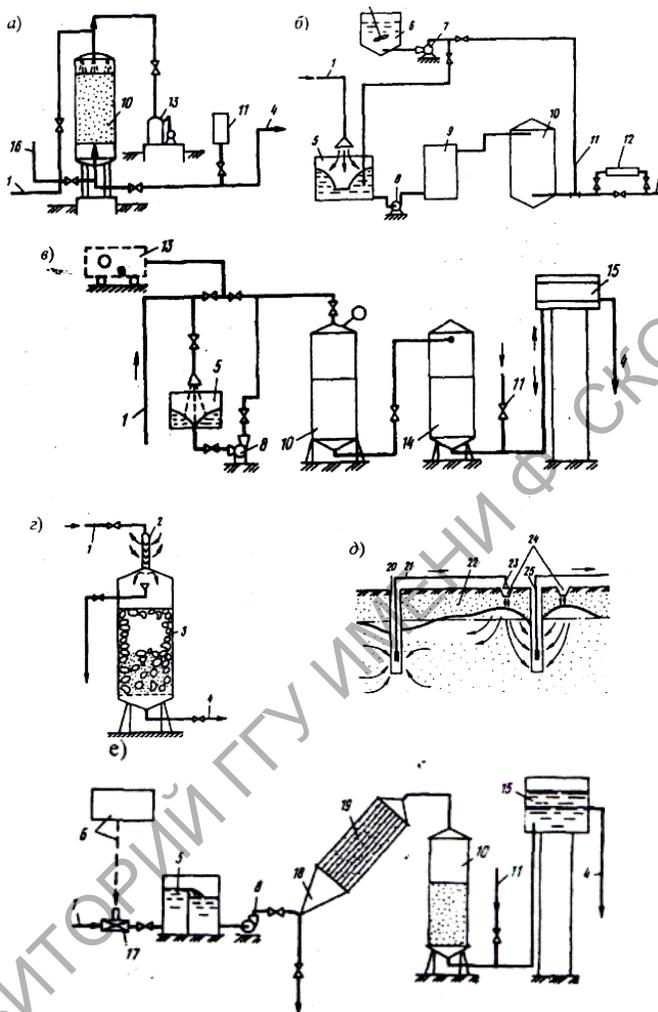


Рисунок 62 – Схемы установок обезжелезивания природных вод

а – "сухая" фильтрация; б – упрощенная аэрация (установка «Деферрит»); в – упрощенная аэрация с двухступенчатым фильтрованием; г – вакуумно-эжекционная аэрация и фильтрование; д – обезжелезивание в пласте, е – известкование (установка «Струя»); 1 и 4 – подача исходной и отвод обработанной воды; 2 – вакуумно-эжекционный аппарат; 3 – скорый каркасно-засыпной фильтр; 5 – бак-аэратор; 6 – реагентное хозяйство; 7 – насос-дозатор; 8 – насос; 9 – ресивер; 10 – скорый фильтр; 11 – ввод хлора (вариант); 12 – бактерицидная установка; 13 – компрессор; 14 – скорый фильтр II ступени; 15 – водонапорная башня; 16 – сброс воздуха; 17 – трубчатый смеситель; 18 – камера хлопьеобразования; 19 – тонкослойный отстойник; 20 – вспомогательный колодец; 21 – подача воды на аэрацию; 22 – зона аэрации; 23 – аэрационное устройство; 24 – кольцевой инфильтрационный бассейн; 25 – эксплуатационный колодец

Глубина вакуума  $B$  принимается в пределах 0,05-0,1 МПа в зависимости от содержания в исходной воде свободной двуокиси углерода и сероводорода. Меньшее значение глубины вакуума принимается для верхних пределов содержания указанных газов (таблица 41) и наоборот. Промежуточные значения  $B$  определяются интерполяцией.

Производительность вакуумно-эжекционного аппарата рассчитывается по формуле:

$$Q = \mu_{кн} \cdot \mu_{нв} \cdot \omega \sqrt{2g \cdot H}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (244)$$

где  $\mu_{кн}$ ,  $\mu_{нв}$  – коэффициенты расхода соответственно конически сходящегося насадка и насадка Вентури (таблица 42);

$\omega$  – площадь поперечного сечения насадка Вентури,  $\text{м}^2$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$H$  – напор, м.

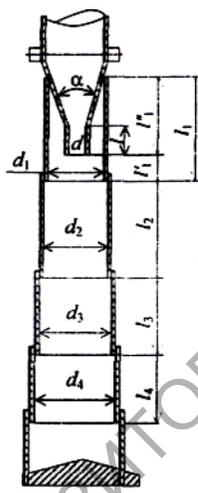


Рисунок 63 – Общий вид вакуумно-эжекционной установки  
 $\alpha$  – угол конусности;  $d-d_4$  – внутренний диаметр цилиндров;  
 $l$  – длина насадка Вентури;  $l_1$  – общая длина цилиндра;  $l_2-l_4$  – высота камера смешения;  $l_1$  – высота вакуумно-эжекционной зоны;  $l_1''$  – рабочая длина цилиндра

Для определения конической скорости истечения воды, из обоих насадков используется формула:

$$v = \varphi_{кн} \cdot \varphi_{нв} \sqrt{2gH}, \text{ м/с}, \quad (245)$$

где  $\varphi_{кн}$ ,  $\varphi_{нв}$  – коэффициенты скорости соответственно конически сходящегося насадка и насадка Вентури (таблица 42).

Таблица 42 – Определение коэффициентов для насадок

Тип насадка	Коэффициент скорости, $\varphi$	Коэффициент расхода, $\mu$	Коэффициент сопротивления, $\zeta$
Внешний цилиндрический (Вентури)	0,82	0,82	1
Конически сходящийся	0,96	0,94	0,98

Напор воды перед насадком определяется по формуле:

$$H = 100(P - P_г), \text{ м}, \quad (246)$$

где  $P$  – давление воды перед эжекционным аппаратом, МПа;

$P_г$  – давление эжектируемого воздуха, принимаемое равным атмосферному, МПа.

Диаметр насадка Вентури  $d$ , мм, определяется по таблице 43 в зависимости от исходного давления воды  $P$ , а его длина  $l$ , м, принимается равной 3-4  $d$ .

Таблица 43 – Определение диаметра насадка Вентури

Давление $P$ , МПа	Диаметр насадка Вентури $d$ , мм
0,3-0,4	5-10
0,5-0,8	5-30
0,9 и более	5-40

Размеры конически сходящегося насадка рассчитываются по величине угла конусности  $\alpha$ , равного  $13^\circ 24'$  и диаметра насадка Вентури.

Диаметр вакуумной камеры  $d_1$  определяется по соотношению, в зависимости от исходного значения  $P$ , требуемого значения  $B$  (рисунки 63, 64) и принятому  $d$ , а ее длина  $l_1$  – по формуле:

$$l_1 = \frac{\omega_1}{\omega} (P + 0,4) \cdot k \cdot d_1 \geq 10d_1, \text{ м}, \quad (247)$$

где  $\omega_1$ ,  $\omega$  – площади поперечного сечения соответственно вакуумной камеры и насадка Вентури,  $\text{м}^2$ ;

$P$  – давление воды перед эжекционным аппаратом, МПа;

$d_1$  – диаметр вакуумной камеры, м;

$k$  – коэффициент шероховатости, характеризующий качество внутренних стенок вакуумной камеры (для стали –  $k = 1$ ; нержавеющей стали  $k = 1,1$ ; пластмассы  $k = 1,2$ ; стекла  $k = 1,3$ ).

Количество эжекционных камер смешения рассчитывается следующим образом:

$$K_{cm} = 0,02 [\text{Fe}^{2+}] + 0,04 [\text{CO}_2] + 0,16 [\text{H}_2\text{S}] - 0,05 [\text{O}_2], \text{ шт}, \quad (248)$$

$$2 < K_{cm} < 6,$$

где  $[\text{Fe}^{+}]$ ,  $[\text{CO}_2]$ ,  $[\text{H}_2\text{S}]$ ,  $[\text{O}_2]$  – концентрация в исходной воде соответственно двухвалентного железа, свободной углекислоты, сероводорода и кислорода, мг/л.

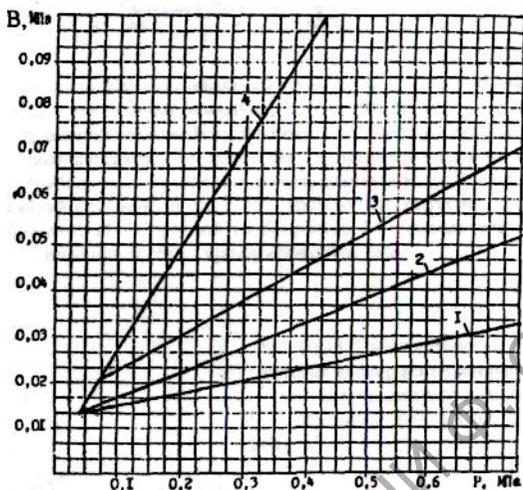


Рисунок 64 – Влияние давления на величину вакуума при различных соотношениях площадей сопла и вакуумной камеры

1 – соотношение площади сопла и вакуумной камеры 1 – 1 : 64; 2 – 1 : 25; 3 – 1 : 16; 4 – 1 : 6

Диаметр первой (после вакуумной камеры) эжекционной камеры смешения  $d_{э1}$  следует принимать равным  $d_l$ .

Диаметр  $n$ -й эжекционной камеры смешения принимается равным:

$$d_{эn} = \left(1 + 9 \operatorname{tg} \frac{\beta_n}{2}\right) d_{э(n-1)}, \text{ м}, \quad (249)$$

где  $d_{э(n-1)}$  – диаметр предыдущей камеры смешения, м;

$\beta_n$  – центральный угол раскрытия потока воды в  $n$ -ой камере смешения, градусы:

$$\beta_n = 21 \cdot \Delta P_p \cdot d_{э(n-1)}^{0,125}, \quad (250)$$

где  $\Delta P_p$  – перепад рабочего давления воды, МПа:

$$\Delta P_p = P_{э(n-1)} - P_э, \quad (251)$$

где  $P_{э(n-1)}$  – рабочее давление в предыдущей камере смешения, МПа;

$P_э$  – давление эжектируемого воздуха, принимаемое равным

атмосферному, МПа;

Рабочее давление воды после вакуумной камеры принимается равным  $0.75P$ .

Рабочее давление после камеры смешения следует принимать равным:

$$P_{э1} = 0,8 \cdot (0,75 \cdot P), \text{ МПа}, \quad (252)$$

а в последующей камере  $P_{э2}$  составляет 80% от  $P_{э1}$ .

Длина каждой камеры смешения определяется в зависимости от их диаметров:

$$l_{эn} = (8 \div 12)d_{эn}, \text{ м}. \quad (253)$$

Для равномерного эжектирования воздуха по всему периметру камеры смешения предусмотрены окна. Суммарная длина окон по периметру каждой камеры смешения принимается равной половине ее окружности. Высота окна определяется в зависимости от диаметра камеры смешения (таблица 44).

Таблица 44 – Высота окон

Диаметр камеры смешения, мм	Высота окна, мм
20-30	5-6
31-60	7-8
61-90	9-10
91-150	11-15

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

*Проектирование градирен* заключается в определении их площади, емкости контактного резервуара, подбора вспомогательного оборудования и загрузки (насадка).

При обезжелезивании воды принимают два типа градирен: контактные (при производительности установок до 50-75 м<sup>3</sup>/ч) и вентиляторные (при производительности установок более 75 м<sup>3</sup>/ч).

Необходимую площадь градири рассчитывают по формуле:

$$F_z = \frac{Q_{\text{час}}}{q_{\text{уд}}}, \text{ м}^2, \quad (254)$$

где  $Q_{\text{час}}$  – производительность установки, м<sup>3</sup>/ч;  
 $q_{\text{уд}}$  – нагрузка, м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> (таблица 45).

Таблица 45 – Определение нагрузки на гравирню

Тип гравирни	Насадок	Нагрузка, м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>2</sup>
Контактная	Кольца Рашига 25х25х3 мм (кокс, гравий)	10-15
Вентиляторная	Кольца Рашига 25х25х3 мм	60
	Пластмассовые кольца 20х20х2 мм	70
	Хордовая из деревянных брусков толщиной 40 мм	40

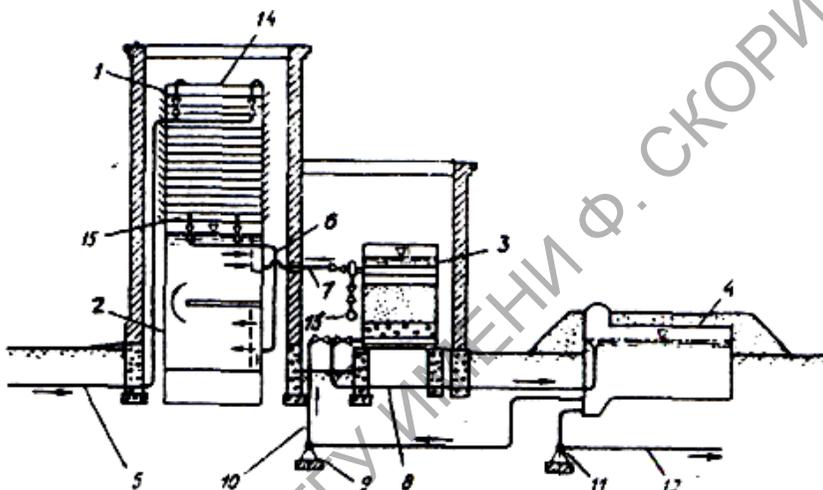


Рисунок 65 – Высотная схема обезжелезивающей установки с контактной гравирней  
 1 – контактная гравирня; 2 – контактный резервуар; 3 – скорый фильтр; 4 – резервуар чистой воды; 5 – трубопровод, подающий исходный воду из скважин; 6 – трубопровод, подающий воду из гравирни в контактный резервуар; 7 – трубопровод, подающий воду из контактного резервуара на фильтр; 8 – трубопровод, отводящий фильтрованную воду; 9 – промывной насос; 10 – трубопровод, подающий промывную воду; 11 – насосы II-го подъема; 12 – трубопровод, подающий воду потребителям; 13 – сбросной трубопровод; 14 – распределительная система контактной гравирни; 15 – поддон для сбора проаэрированной воды

Необходимую площадь поверхности загружаемого насадка, определяют по формуле:

$$F_n = \frac{2,3 \cdot Q_{\text{час}} \lg \frac{C_{\text{max}}}{C_{\text{омн}}}}{K_{\text{ж}}}, \text{ м}^2, \quad (255)$$

где  $C_{\text{max}}$  – суммарное расчетное количество свободной углекислоты, подлежащей удалению, мг/л;

$C_{онт}$  – содержание свободной углекислоты, соответствующее оптимальному значению  $pH = 7,0$  при данной щелочности воды, мг/л (см. номограмму 67);

$K_{дс}$  – коэффициент десорбции, м/ч, принимаемый по графику (рисунок 68).

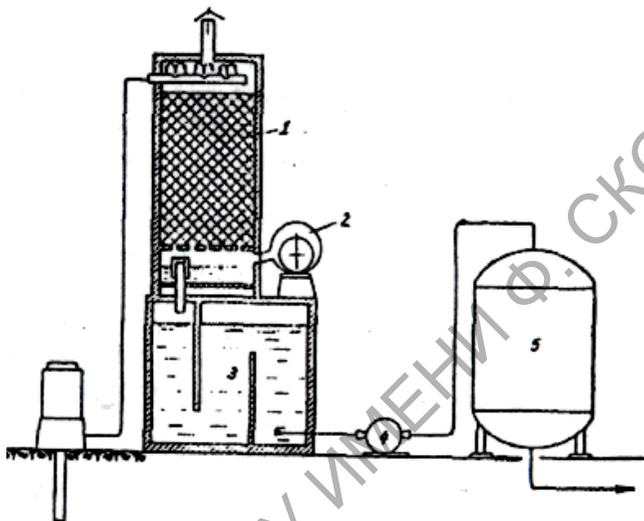


Рисунок 66 – Схема установки для обезжелезивания воды с вентиляторной градирней  
1 – вентиляторная градирня; 2 – вентилятор; 3 – резервуар; 4 – насос; 5 – напорный фильтр

$$C_{max} = 1,57 \cdot C_{Fe} + (C_{нач} - C_{онт}), \text{ мг/л}, \quad (256)$$

где  $C_{Fe}$  – количество двухвалентного железа в обрабатываемой воде, мг/л;

$C_{нач}$  – начальная концентрация свободной углекислоты в обезжелезиваемой воде, мг/л.

При расчете  $\Delta C_{ср}$  пользуются формулой:

$$\Delta C_{ср} = \frac{C_{нач} - C_{онт}}{2,31 \cdot \lg \frac{C_{нач}}{C_{онт}}}, \text{ кг/м}^3. \quad (257)$$

Величины  $C_{нач}$  и  $C_{онт}$  подставляются в формулу в  $\text{кг/м}^3$ .

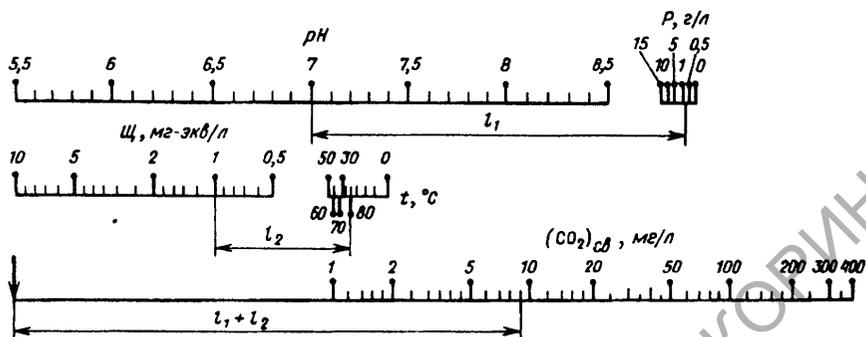


Рисунок 67 – Номограмма для определения концентрации свободной двуокиси углерода в природной воде (или pH)

**Пример.** Дано:  $pH = 7$ ;  $P = 1$  г/л;  $Щ = 1$  мг-экв/л;  $t = 80$  °C. Ответ:  $(CO_2)_{св} = 9,1$  мг/л

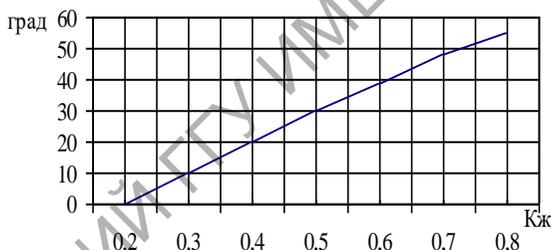


Рисунок 68 – График зависимости коэффициента десорбции  $k_{ж}$  от температуры

Объем контактного насадка,  $m^3$ , определяют из его удельной поверхности (таблица 46) и требуемой площади поверхности (формула 255).

Высоту слоя загрузки (насадка) вентиляторной градирни принимают по таблице 47 в зависимости от общей щелочности исходной воды.

Объем контактного резервуара, предназначенного для завершения процесса окисления двухвалентного железа и образования хлопьевидного гидроксида железа (III), рассчитывают на продолжительность пребывания воды в нем в течение 30-60 минут в зависимости от содержания в нем железа.

Производительность вентилятора, подающего воздух в вентиляторную градирню в направлении, противоположном потоку движущейся воды,

определяют по часовой производительности обезжелезивающей установки  $Q_{час}$  и расходу воздуха на  $1 \text{ м}^3$  аэрируемой воды, принимаемому 10-12  $\text{м}^3$ .

Таблица 46 – Определение удельной поверхности контактного насадка

Тип насадка	Размеры элемента насадка, мм	Количество элементов на $1 \text{ м}^3$	Удельная поверхность насадка, $\text{м}^2/\text{м}^3$	Масса, $\text{кг}/\text{м}^3$
Кольцо Рашига	25x25x3	53200	204	532
Гравий	42	14400	80,5	
Кокс кусковой	43	14400	77	455
	41	15250	86	585
	29	27700	110	660
	24	64800	120	600

Таблица 47 – Рекомендуемая высота слоя насадка при аэрации на вентиляторной градирне

Общая щелочность воды, $\text{мг-экв}/\text{л}$	Высота слоя насадка, м	
	кольца Рашига размером 25x25x3 мм	хордовая из деревянных брусков толщиной 40 мм
0,5-2	1,5	2,0
2	1,5	2,0
3	1,75	2,5
4	2,0	3,0
5	2,5	3,5
6	3,0	4,0
6-8	4,0	5,0

Брызгальные бассейны (рисунок 69), в которых аэрирование воды; происходит за счет ее фонтанирования, применяются при благоприятных климатических условиях или в случаях, когда значительное содержание железа в воде или ее высокая окисляемость требуют больших объемов контактных резервуаров.

Брызгальные бассейны проектируют из расчета интенсивности орошения, равной  $5 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади бассейна, и обеспечения напора воды перед соплами на менее 15 м. вод. ст.

При использовании в технологической схеме обезжелезивания бака-аэратора его рассчитывают на пребывание воды – 0,5-1 мин. Скорость излива воды из насадки через отражатель принимается равной — 1,5-2,0 м/с. Бак оборудуется трубопроводами подачи и отвода исходной воды, перелива и полного опорожнения.

При упрощенной аэрации обогащение воды кислородом воздуха предусмотрено за счет излива ее в карман открытого фильтра с высоты 0,5-1,0 м или путем подачи сжатого воздуха в трубопровод перед напорными фильтрами в количестве 2,0-2,5 л на 1 г содержащегося в воде

двухвалентного железа.

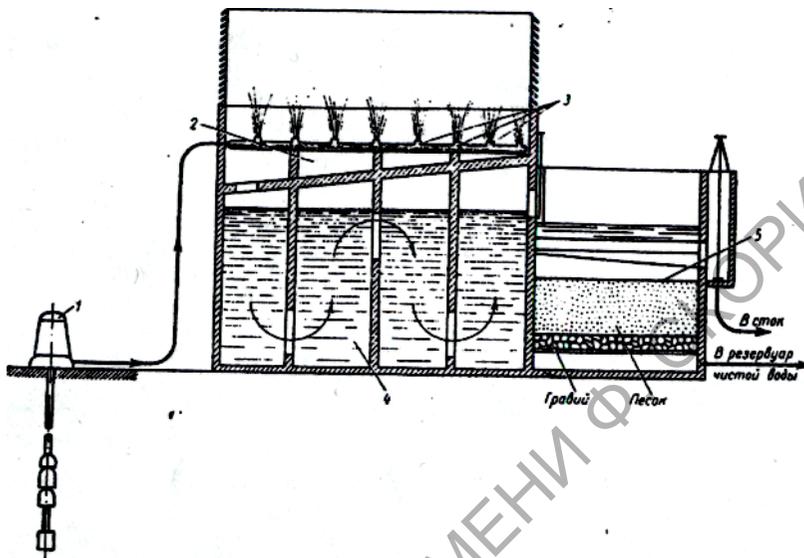


Рисунок 69 – Схема установки для обезжелезивания воды с брызгальным бассейном  
1 – насос; 2 – брызгальный бассейн; 3 – разбрызгивающие насадки; 4 – контактный резервуар;  
5 – фильтр

**Пример.** Рассчитать обезжелезивающую установку при заданной производительности  $Q_{сут} = 9100$  м<sup>3</sup>/сутки, или  $Q_{час} = 380$  м<sup>3</sup>/ч. Содержание в исходной воде двууглекислого железа составляет 9 мг/л.

Для выделения свободной углекислоты применяем аэрацию воды на вентиляторной градирне.

Необходимая площадь вентиляторной градирни

$$F_2 = \frac{380}{60} = 6,33 \text{ м}^2.$$

Высота слоя насадки из колец Рашига при щелочности (карбонатной жесткости) исходной воды 6 мг-экв/л принимается  $h_{кр} = 3$  м.

Производительность вентиляторов градирни

$$Q_{вент} = Q_{час} \cdot Q_0 = 380 \cdot 10 = 3800 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $Q_0$  – необходимая производительность вентилятора на 1 м<sup>3</sup>

пропускаемой воды, обычно принимается равной  $10 \text{ м}^3$ .  
Напор, развиваемый вентилятором, должен быть

$$h_{\text{вент}} = h_{\text{кр}} \cdot 30 = 3 \cdot 30 = 90 \text{ мм вод. ст.}$$

Емкость контактного резервуара

$$W = Q_{\text{нас}} \cdot t = 380 \cdot 0,5 = 190 \text{ м}^3,$$

где  $t$  — время пребывания воды в контактном резервуаре, ч.

Размер (в плане) контактного резервуара объемом  $190 \text{ м}^3$  при глубине слоя воды, равной  $4 \text{ м}$ , будет:  $6,9 \times 6,9 \text{ м}$ .

Напорные вертикальные фильтры для окончания процесса флокуляции гидроокиси железа и удаления ее проектируются в соответствии с указаниями, изложенными в п. 6.10.

Для загрузки фильтров используется песок с крупностью зерен  $0,5$ — $1,2 \text{ мм}$  при высоте фильтрующего слоя  $1200 \text{ мм}$ .

При скорости фильтрования  $6 \text{ м/ч}$  необходимая площадь фильтров

$$\Sigma f = \frac{380}{6} = 63,3 \text{ м}^2.$$

Принимаем семь рабочих фильтров и один резервный серийного изготовления диаметром  $D = 3,4 \text{ м}$  и площадью каждый  $9,07 \text{ м}^2$ . Общая рабочая площадь фильтров  $7 \times 9,07 = 63,49 \text{ м}^2$ .

При применении напорных фильтров следует предусматривать ввод воздуха в подающий трубопровод в количестве  $2 \text{ л}$  на  $1 \text{ г}$  двухвалентного железа.

Конструкция фильтров для обезжелезивания воды с упрощенной аэрацией аналогична конструкции фильтров для осветления и обесцвечивания воды, но со следующими расчетными параметрами: диаметр зерен фильтрующего слоя — минимальный  $0,8 \text{ мм}$  и максимальный  $1,8 \text{ мм}$ ; эквивалентный диаметр  $0,9$ - $1 \text{ мм}$ ; коэффициент неоднородности  $1,5$ - $2$ ; высота слоя  $1000 \text{ мм}$ ; скорость фильтрования при нормальном режиме  $7 \text{ м/ч}$ , а при форсированном  $10 \text{ м/ч}$ .

Использование более крупной загрузки с диаметром зерен  $1$ - $2 \text{ мм}$ , с эквивалентным диаметром  $1,2$ - $1,3 \text{ мм}$  и коэффициентом неоднородности  $1,5$ - $2$  при высоте фильтрующего слоя  $1200 \text{ мм}$  позволяет увеличить скорость фильтрования при нормальном режиме до  $10 \text{ м/ч}$ , а при форсированном — до  $12 \text{ м/ч}$ .

Расчетная продолжительность фильтроцикла должна быть не менее  $12 \text{ ч}$ .

Таким образом, практическое использование нового метода позволяет проводить обезжелезивание воды без устройства аэраторов и контактных резервуаров.

### Расчет установки для реагентного обезжелезивания воды

Рассматриваемая установка (рисунок 70) применяется для обезжелезивания воды поверхностных источников. Она включает оборудование реагентного хозяйства (для приготовления и дозирования раствора коагулянта, известкового молока и хлор-газа), аэратор-смеситель 1 для аэрации воды и смешения ее с реагентами, осветлитель 2 для задержания взвеси и продуктов реакции реагентов, введенных в воду, фильтр 3, который задерживает взвесь, не осевшую в осветлителе.

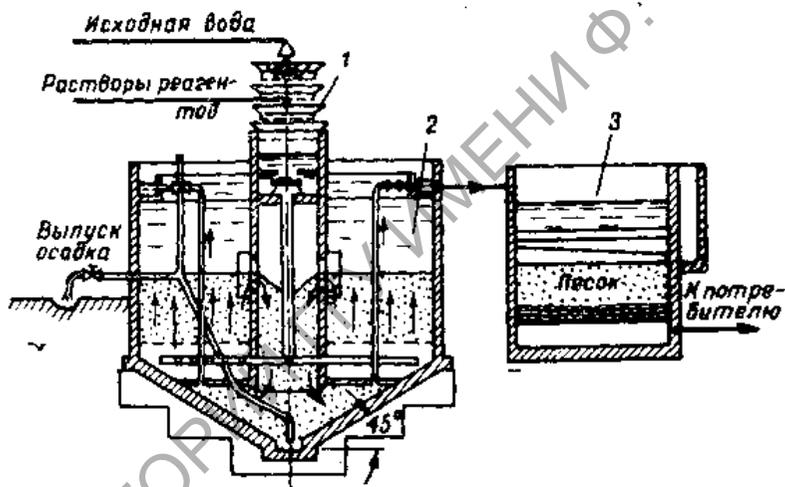


Рисунок 70 – Схема установки для реагентного обезжелезивания воды

**Пример.** Заданная производительность станции обезжелезивания воды  $Q_{сут} = 9100 \text{ м}^3/\text{сутки}$ , или  $Q_{час} = 380 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Карбонатная жесткость исходной воды  $J_k = 5,3 \text{ мг-экв/л}$ ; содержание в воде  $\text{CO}_2$  при  $\text{pH} = 6,9$  и ее температуре  $t = 10^\circ\text{C}$  составляет  $74 \text{ мг/л}$ ; содержание железа  $6,5 \text{ мг/л}$ ; цветность исходной воды  $C = 60^\circ$ . Необходимая доза извести в пересчете на  $\text{CaO}$  будет

$$D_{\text{CaO}} = 0,64 [\text{CO}_2] + [\text{Fe}^{2+}] + 6, \text{ мг/л.} \quad (258)$$

В данном примере  $D_{\text{CaO}} = 0,64 \cdot 74 + 6,5 + 6 = 59,9 \approx 60 \text{ мг/л}$ .

Доза сернокислого алюминия в пересчете на безводный продукт  $D_k = 4\sqrt{Ц} = 4\sqrt{60} = 31$  мг/л. Доза хлора  $D_{хл} = 0,5[O_2] = 0,5 \cdot 5,9 \approx 3$  мг/л (где  $[O_2]$  — окисляемость воды в мг/л  $O_2$ , равная 5,9 мг/л).

Нагрузка на аэратор-смеситель должна быть 50-75 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup>. Тогда площадь его поперечного сечения будет  $P_{аэр} = 380 : 75 = 5,07$  м<sup>2</sup>.

При расчете осветлителя расчетные параметры принимаются такими, как и при обычном осветлении воды.

После пропуска воды через осветлитель вода поступает на безнапорные скорые фильтры или на фильтры с двухслойной загрузкой. В фильтрах возможно устройство для верхней промывки, которая улучшает отмывку верхних слоев песка от железистых отложений.

При реагентном обезжелезивании воды сооружения для смешения реагентов с водой, отстаивания и фильтрования рекомендуется рассчитывать аналогично сооружениям для осветления и обесцвечивания воды.

## 6.15 Установки для обеззараживания воды

### Методы обеззараживания воды

При улучшении качества воды для хозяйственно-питьевых нужд заключительным этапом является ее обеззараживание. При осветлении и обесцвечивании воды коагулированием с последующим отстаиванием и фильтрованием из нее удаляется до 90-95% бактерий. В оставшейся части могут присутствовать патогенные бактерии и вирусы. В технологии водоподготовки известен ряд методов обеззараживания воды, которые можно классифицировать на пять основных групп: термический; сорбция на активном угле; с помощью сильных окислителей; олигодинамия (воздействие ионов благородных металлов); физический (с помощью ультразвука, радиоактивного излучения, ультрафиолетовых лучей).

*Тепловой способ.* Кипячение воды в течение 12-20 мин убивает все неспорообразующие микроорганизмы. Для уничтожения спор применяют нагрев воды до 120° под давлением или дробную стерилизацию воды - ее кипятят в течение 15 мин, охлаждают до 35°, выдерживают при этой температуре 2 ч для прорастания спор и снова нагревают до кипения.

*Обеззараживание воды окислителями.* Сильные окислители, окисляя энзимы бактериальных клеток, убивают бактерии. Для обеззараживания воды можно применять хлор, бром, йод, двуокись хлора, соли хлорноватой и хлорноватистой кислот, озон, перманганат калия, перекись водорода. Наибольшее распространение в качестве обеззараживающих средств получили жидкий хлор и гипохлориты натрия и кальция, что объясняется их относительно невысокой стоимостью.

*Обеззараживание воды ионами тяжелых металлов.* Очень небольшие

количества ионов серебра или меди обеззараживают воду. Для полноты обеззараживания требуется длительная экспозиция. Ионы серебра в концентрации 0,015 мг/л освобождают воду от патогенных микроорганизмов при 4-часовом времени экспозиции. Ионы меди обладают высокой альгицидной активностью, но менее активны в отношении микроорганизмов желудочно-кишечной группы.

*Обеззараживание воды ультразвуковыми колебаниями.* Воздействием ультразвукового поля удастся полностью обеззаразить воду; для этого требуется, однако, интенсивность ультразвукового излучения более 2 Вт/см<sup>2</sup> при продолжительности излучения 5-10 мин.

*Действие ионизирующего излучения.* По литературным данным, облучение воды рентгеновскими лучами,  $\gamma$  - и  $\beta$ -излучателями обеззараживает воду. Эти методы обеззараживания воды пока не нашли практического применения.

*Действие ультрафиолетового излучения.* Вода, длительное время находящаяся на солнечном свету, освобождается от патогенных микроорганизмов. Облучение воды ультрафиолетовыми лучами хорошо обеззараживает воду, свободную от взвешенных коллоидных примесей.

### **Обеззараживание воды хлором**

Обеззараживание воды хлорированием на водоочистных комплексах осуществляют хлорной известью, хлором и его производными, под действием которых бактерии, находящиеся в воде, погибают в результате оксидации и разрушения веществ, входящих в состав протоплазмы клеток. Хлор окисляет органические вещества. Для качественного хлорирования необходимо хорошее перемешивание, а затем не менее чем 30-минутный (при совместных хлорировании и аммонизации 60-минутный) контакт хлора с водой, прежде чем она поступит к потребителю. Контакт обеспечивается в резервуаре сбора фильтрованной воды или в трубопроводе подачи воды потребителю, если он имеет достаточную длину без водоразбора.

Дозу хлора устанавливают технологическим анализом из расчета, чтобы в 1 л воды, поступающей к потребителю, оставалось 0,3-0,5 мг хлора, не вступившего в реакцию (остаточного хлора), который является показателем санитарной надежности. При этом условия доза хлора при хлорировании фильтрованной воды составляет 2-3 мг/л в зависимости от хлоропоглощаемости. При выключении на промывку или ремонт одного из резервуаров фильтрованной воды, когда не обеспечивается необходимое время контакта воды с хлором, его доза должна быть увеличена.

Предприятия по производству хлора поставляют его в основном в баллонах двух типов: Е-24 вместимостью до 40 кг жидкого хлора и Е-54 с содержанием хлора до 80 кг, а также в бочках (контейнерах) вместимостью 500, 800 и 1000 л. На крупные водоочистные комплексы и базисные склады хлор доставляют

обычно в специальных железнодорожных цистернах вместимостью до 48 т жидкого хлора.

Хлорное хозяйство должно обеспечивать прием, хранение, испарение жидкого хлора, дозирование газообразного хлора с получением хлорной воды (раствор хлорноватистой кислоты).

Хлорное хозяйство располагают в отдельном помещении, где сблокированы расходный склад хлора, испарительная и хлордозаторная. Расходный склад хлора можно размещать в отдельных зданиях или вплотную к хлораторной, отделяя его сухой стеной без проемов. Склад хлора в составе хлораторных можно не предусматривать, в этом случае в хлордозаторной разрешается хранение одного баллона жидкого хлора массой не более 70 кг. Хлордозаторные без испарителей, компоуемые в блоке с другими зданиями комплекса или вспомогательными помещениями хлорного хозяйства, отделяют от них глухой стеной без проемов и оборудуют два выхода наружу, при этом один из них должен иметь тамбур. Хлоропроводы выполняют из поливинилхлорида, резины, полиэтилена высокой плотности и др.

Хлорирование воды является надежным санитарно-гигиеническим приемом предотвращения распространения эпидемий, т.к. большинство патогенных бактерий (бациллы брюшного типа, туберкулеза и дизентерии, вибрионы холеры, вирусы полиомиелита и энцефалита) весьма нестойки по отношению к хлору. Хлор не уничтожает спорообразующие бактерии, что является одним из недостатков этого метода обеззараживания.

На практике, в соответствии с качеством исходной воды, применяют одно- или двукратное хлорирование воды. При обработке высокоцветных вод, а также вод, богатых органическими веществами и бактериями, применяют двукратное хлорирование. При этом хлор в воду вводят сначала перед смесителями (предварительное хлорирование), а затем в фильтрованную воду, перед резервуаром чистой воды. Предварительное хлорирование дозой 3-10 мг/л необходимо для окислации органических защитных коллоидов, препятствующих процессу коагуляции, а также гуминовых веществ, обуславливающих цветность воды, с целью экономии коагулянта, расходуемого на его осветление. Для дехлорирования чаще всего применяют обработку воды сульфатом натрия, сернистым газом и фильтрование дехлорируемой воды через активный уголь.

При длительном пребывании питьевой воды перед поступлением к потребителям в резервуарах и водоводах (более 1,5 ч) для продления бактерицидного действия хлора, а также для предотвращения хлорфенольных запахов в воду, кроме него, вводят также и аммиак. Введение аммиака сокращает расход хлора и в ряде случаев улучшает вкус воды.

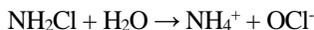
Для борьбы с хлорфенольными привкусами и запахами в воде производят преаммонизацию, т.е. вводят в нее аммиак (до ввода хлора). Количество вводимого аммиака (или аммонийных солей) принимается из расчета 0,5-1 г  $\text{NH}_4$

- иона на 1 г введенного в воду хлора.

Добавляемый несколько позднее хлор соединяется с аммиаком, связывая хлор в хлорамины, не образующие с фенолами хлорфенолов. При низких значениях pH хлорамины образуются медленнее, поэтому преаммонизацию надо вести при значениях pH > 7, чтобы связать хлор в хлорамины прежде чем он вступит в реакцию с фенолами.

Если питьевая вода до подачи в сеть будет находиться в резервуарах и водоводах значительное время, то в нее следует вводить аммиак перед поступлением в резервуар чистой воды, после добавки хлора (т.е. после вторичного хлорирования).

В результате реакций хлорноватистой кислоты (образующейся при хлорировании) с аммиаком получаются монохлорамины, которые подвергаются в воде гидролизу:



Гипохлоритный ион  $\text{OCl}^-$  является активным окислителем органических веществ (в том числе и бактерий).

Ввиду медленного протекания процесса гидролиза хлораминов их окислительное действие первоначально несколько ниже, чем действие хлора. Однако это компенсируется значительной пролонгацией бактерицидного действия хлораминов по сравнению с простым хлорированием. Кроме того, ввод аммиака позволяет сократить расход хлора и, в большинстве случаев, устраняет привкус и запах остаточного хлора.

Доза аммиака, вводимого для перечисленных выше целей, составляет обычно 1/4-1/10 дозы хлора.

Таблица 48 – Вакуумные хлораторы

Тип	Производительность по хлоратору, кг/ч	Диаметр подводящего патрубка эжектора, мм	Габаритные размеры в мм			Вес, кг
			высота	ширина	глубина	
ЛОНИИ-100	0,5-3	25	830	650	160	41
ЛОНИИ-100	1-5	25	830	650	160	41
ЛОНИИ-100	2-10	50	830	650	160	41
ЛК -10м*	0,04-0,8	–	530	230	160	12,5
ЛК-106**	2-20	–	800	370	250	45

\* Малой производительности.

**\*\* Большой производительности.**

Продолжительность контакта от момента смешивания хлора и аммиака с водой до поступления к ближайшим потребителям следует принимать не менее 1 ч. Таким образом, при совместном хлорировании и аммонизации минимальная продолжительность контакта в два раза больше, чем при простом хлорировании.

Аммиак, так же как и хлор, хранится и доставляется в баллонах или стальных бочках. Установки для аммонизации надо располагать в отдельном помещении, изолированном от хлораторной. Помещение оборудуется вытяжной вентиляцией с 12-кратным воздухообменом и отсосом воздуха под потолком.

**Таблица 49 – Основные данные по стальным баллонам для газов**

Показатели	Емкость баллонов в л							
	20	25	30	36	40	45	50	55
Длина сифонной трубки в мм	675	825	975	1125	1275	1425	1575	1725
Вес корпуса баллона в кг	24,5	29,5	34	40	43,5	48	53	58
Длина корпуса баллона в мм	740	890	1040	1220	1340	1490	1640	1790
Вес (нетто) хлора сжиженного в кг.	25	32,5	37,5	45	50	55	62	68,3
Вес баллона с хлором в кг	49,5	62	71,5	85	93,5	103	115	126,3

*Примечание.* Диаметр цилиндрической части  $D = 219$  мм; толщина стенки баллона  $S \geq 5,2$  мм.

**Таблица 50 – Основные данные по стальным баллонам для газов**

Показатели	Емкость баллонов в л								
	80	100	130	160	200	250	320	400	500
Наружный диаметр цилиндрической части баллонов $D$ , мм	325 (377)	325 (377)	325 (377)	325 (377)	325 (377)	325 (377)	325 (377)	465	465
Длина корпуса баллонов $L$ , мм	1320 (1080)	1590 (1280)	1990 (1580)	2390 (1880)	2930 (2280)	2780 (2260)	2800 (2440)	2970	3620
Вес (нетто) сжиженного хлора, кг	100	125	162	200	250	312	400	500	625
Вес баллонов, кг	90 (100)	105 (115)	130 (140)	155 (165)	190 (200)	235 (255)	315 (350)	415	505
Вес баллона с хлором, кг	190 (200)	230 (240)	292 (302)	355 (365)	440 (450)	547 (567)	715 (750)	915	1130
Толщина стенки баллонов $S$ , мм	7 (7,9)	7 (7,9)	7 (7,9)	7 (7,9)	7 (7,9)	7,9 (9,2)	9,2 (10,2)	10,2	10,2

*Примечание.* По требованию потребителя баллоны емкостью 80-320 л

поставляются нормальной или укороченной длины. Для указанной емкости баллонов в скобках указаны параметры укороченной длины.

Таблица 51 – Технические данные платформенных рычажных весов

Показатели	Тип весов			
	РП-500Г13 (м)	РП-1ПЗ (м)	РП-2Г13 (м)	РП-3Г13 (м)
Нагрузка в кг: наибольшая	500	1000	2000	3000
наименьшая	25	50	100	150
Размеры платформы, мм	630x800	800x1000	1250x1250	1500x1500
Размеры в мм: длина	1045	1231	1710	1920
ширина	825	1104 1413	1320	1650
высота	1375		1400	1419
Вес с комплектом условных гирь в кг	129	188	-	471

### Расчет хлораторной установки

Для обеззараживания воды из реки или водохранилища расчетную дозу хлора надо принимать более высокой, чем при обеззараживании воды из подземного источника.

Хлорирование производится в два этапа: предварительное - дозой 3-10 мг/л при поступлении воды на очистную станцию; дозой 2-3 мг/л - для обеззараживания воды после фильтрования. Вместе с тем установка для подачи хлора должна предусматривать возможность ввода хлора в один этап, т.е. либо перед поступлением воды на очистную станцию, либо после фильтрования воды.

Расчетный расход хлора для хлорирования воды определяется:

– для предварительного хлорирования при принятой дозе  $D_{хл}$  мг/л:

$$g'_x = \frac{Q_{сум} \cdot D'_{хл}}{24 \cdot 1000}, \text{ кг/ч}; \quad (259)$$

– для вторичного хлорирования при принятой дозе  $D_{хл}''$ , мг/л:

$$g_x'' = \frac{Q_{\text{сум}} \cdot D_{\text{хл}}''}{24 \cdot 1000}, \text{ кг/ч}; \quad (260)$$

Часовой расход хлора определяется из выражения:

$$g_x = g_x' + g_x'', \text{ кг/ч}. \quad (261)$$

Оптимальные дозы хлора назначают по данным пробного хлорирования очищаемой воды.

В аппаратной устанавливаются вакуумные хлораторы различных марок с газовым измерителем (с учетом резервных).

В аппаратной, кроме хлораторов, устанавливаются промежуточные хлорные баллоны. Они требуются (в больших установках) для задержания загрязнений перед поступлением хлорного газа в хлоратор из расходных хлорных баллонов.

Количество расходных хлорных баллонов определяется по формуле:

$$n_{\text{бал}} = \frac{g_x}{S_{\text{бал}}}, \text{ шт}, \quad (262)$$

где  $S_{\text{бал}} = 0,5-0,7$  кг/ч – съём хлора с одного баллона без искусственного подогрева при температуре воздуха в помещении  $18^{\circ}\text{C}$ .

Для уменьшения количества расходных баллонов в хлораторной могут устанавливаться стальные бочки-испарители. Бочка имеет емкость 500 л и вмещает 625 кг хлора. Съём хлора с  $1 \text{ м}^2$  боковой поверхности бочек составляет  $S_{\text{хл}} = 3$  кг/ч, а боковая поверхность бочки составляет  $3,65 \text{ м}^2$ .

Тогда съём хлора с одной бочки будет равен:

$$q_{\text{б}} = F_{\text{б}} \cdot S_{\text{хл}}, \text{ кг/ч}. \quad (263)$$

Для обеспечения подачи хлора необходимо иметь в работе расчетное количество бочек-испарителей.

Чтобы пополнить расход хлора из бочки, его переливают из стандартных баллонов емкостью 55 л, создавая разрежение в бочках путем отсоса хлор-газа эжектором. Это мероприятие позволяет увеличить съём хлора до 5 кг/ч с одного баллона и, следовательно, сократить количество одновременно действующих расходных баллонов.

Количество баллонов, срабатываемых за сутки определяют по формуле:

$$n = \frac{g_x^{сум}}{E_6}, \text{ шт.}, \quad (264)$$

где  $g_x^{сум}$  – суточная потребность хлора, кг/сут;

$E_6$  – вместимость одного баллона, кг.

В помещении хлораторной должны находиться также резервные баллоны в количестве не менее 50% суточной потребности.

Каждая бочка размещается в горизонтальном положении на платформе циферблатных весов марки РП-2Ц13М размером в плане 1700x1400 мм, что обеспечивает весовой контроль расхода хлора.

При суточном расходе хлора более трех баллонов при хлораторной надо предусматривать хранение трехсуточного запаса хлора.

Основной запас хлора хранится вне очистной станции, на так называемом расходном складе, рассчитанном на 15-суточную потребность в хлоре.

Количество баллонов, находящихся на складе определяется по формуле:

$$n_x = \frac{g_x^{сум} \cdot T_x}{E_6}, \text{ шт.}, \quad (265)$$

где  $T_x$  – количество дней хранения.

Доставка баллонов с расходного склада на очистную станцию производится по мере надобности автомашиной, электрокарами или другими видами транспорта.

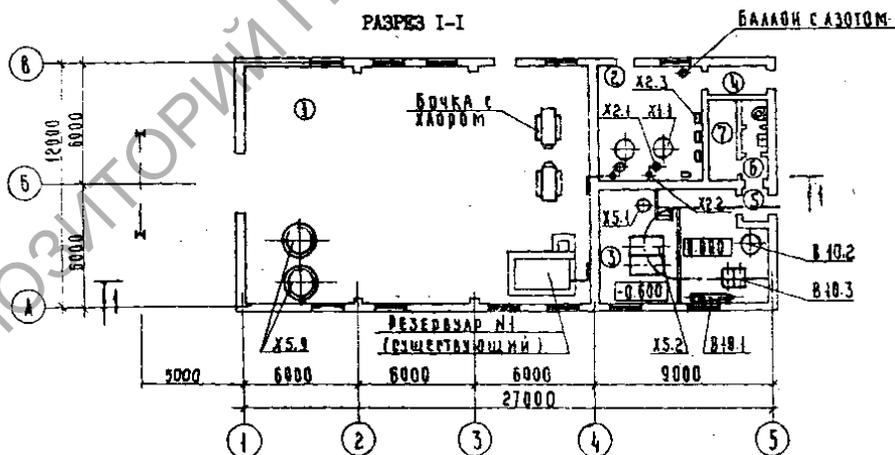


Рисунок 71 – Хлораторная производительностью 20 кг хлора в час

1 – склад хлора; 2 – хлораторная; 3 – насосная; 4 – тамбур хлордозаторной; 5 – тамбур насосной; 6 –

коридор; 7 – комната инвентаря химзащиты; X1.1 – испаритель; X2.1 – гравзвик; X2.2 – фильтр; X2.3 – хлоратор ЛОНИИ 100; B10.1 – водоподогреватель; B10.2 – бак разрыва струи  $V = 0,8 \text{ м}^3$ ; B10.3 – насос К 20/30; X5.1 – затворный бак  $V = 0,8 \text{ м}^3$ ; X5.2 – насос X 160/29; X5.3 – таль ручная передвижная грузоподъемностью 1 т; X5.8 – скруббер.

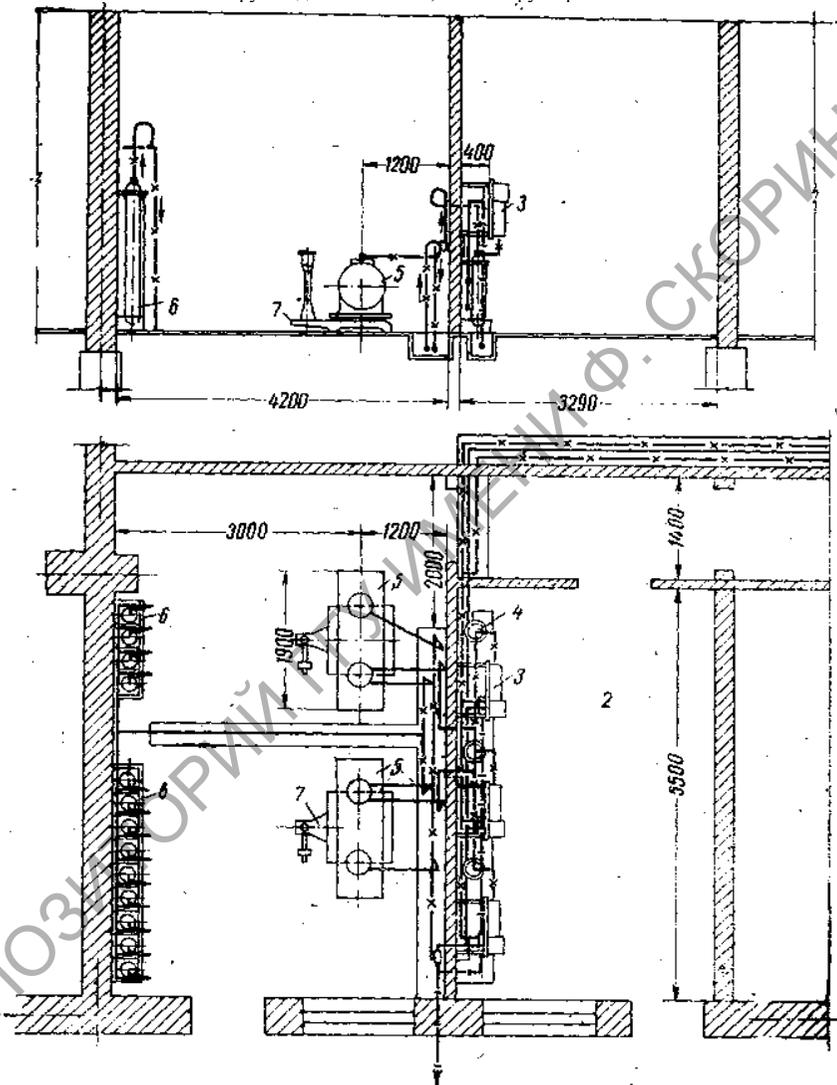


Рисунок 72 – Хлораторная установка

—х— хлорная вода; —1— канализация; ——— хозяйственно-питьевой водопровод.  
 1 – хлораторная; 2 – аппаратная; 3 – вакуумные хлораторы ЛОНИИ-100; 4 – промежуточные

хлорные баллоны; 5 – бочки испарители; 6 – расходные баллоны; 7 – платформа циферблатных весов

## **Обеззараживание воды сильными окислителями**

Сильные окислители, окисляя ферменты бактериальных клеток, убивают бактерии. Для обеззараживания воды можно применять хлор, бром, йод, двуокись хлора, соли хлорноватой и хлорноватистой кислот, озон, перманганат калия, перекись водорода. Наибольшее распространение в качестве обеззараживающих средств получили жидкий хлор и гипохлориты натрия и кальция, что объясняется их относительно невысокой стоимостью.

Процесс обеззараживания воды сильными окислителями проходит в две ступени: сначала обеззараживающий агент диффундирует через оболочку внутри клетки микроорганизма, а затем вступает в реакцию с ферментами внутри клетки.

Скорость процесса обеззараживания воды определяется кинетикой отмирания клеток в результате нарушения метаболизма, наступающего вследствие окисления ферментов обеззараживающими агентами.

Общая скорость процесса обеззараживания возрастает с увеличением концентрации обеззараживающего агента в воде, повышением ее температуры и переходом обеззараживающего агента в недиссоциированную форму, поскольку диффузия вещества через оболочку клетки происходит быстрее, чем ионов, образующихся при диссоциации данного вещества.

Процесс обеззараживания воды замедляется в присутствии способных окисляться органических веществ и других восстановителей, а также в присутствии коллоидных и взвешенных веществ, обволакивающих бактерии и мешающих их контакту с обеззараживающим агентом.

До 1974 г. предполагалось, что хлорирование воды не оказывает вредного воздействия на здоровье человека. Однако было установлено, что при этой технологии обеззараживания 90% хлора участвуют в реакции окисления органики, оказывая бактерицидное действие, а 10% хлора могут образовывать галогеносодержащие соединения (ГСС), предшественником которых являются гуминовые кислоты, фульвокислоты, танины, хиноны, фенолы и т.д. - всего более 80 веществ.

Жидкий хлор, применяемый в практике водоподготовки, характеризуется взрывоопасностью и токсичностью, что представляет значительный риск для обслуживающего персонала и населения, проживающего вблизи водоочистных станций. Поэтому в настоящее время продолжают поиски методов и реагентов, исключающих применение жидкого хлора, но обеспечивающих не менее продолжительную консервацию обработанной воды.

Одним из путей решения этой задачи является замена жидкого хлора

другими препаратами, содержащими активный хлор (диоксид хлора, хлорамины). Однако эти реагенты также небезопасны для организма человека. Так, диоксид хлора оказывает отрицательное влияние на щитовидную железу и может быть причиной возникновения острых токсикозов, а хлорамины обуславливают мутагенные изменения печени и глаз.

Одним из направлений по предотвращению образования ГСС в питьевой воде является использование более сильных окислителей и дезинфектантов, не дающих такого побочного действия.

К таким средствам относится диоксид хлора  $\text{ClO}_2$ , широко использующийся при водоподготовке за рубежом.

Несмотря на то, что диоксид хлора был впервые применен в качестве сильного дезинфицирующего средства в конце 30-х годов XX века, он лишь недавно начал применяться в промышленном масштабе.

Диоксид хлора при обычных условиях представляет собой желто-оранжевый газ с резким запахом, напоминающим запах хлора, смешанного с окислами азота.  $\text{ClO}_2$  – неустойчивое соединение, при температуре 30-50 °С разлагается по цепному механизму, при температуре выше 65°С или в присутствии органических веществ - спонтанно со взрывом. В присутствии разбавителей - инертных газов воздуха ( $\text{N}_2$ , He, Ar) – вероятность детонации значительно снижается. В промышленных производствах допускается содержание  $\text{ClO}_2$  в газозудушной смеси по объему до 10% при отсутствии искры. Хорошо растворим в воде (до 20 объемов  $\text{ClO}_2$  на один объем воды).

В настоящее время диоксид хлора широко используется за рубежом для очистки питьевых и сточных вод. Так, в США, работают около 600 установок для обработки воды диоксидом хлора. Аналогичные установки действуют также в Европе, Израиле и Японии. В нашей стране диоксид хлора пока не используется, хотя предварительные исследования, проведенные МосводоканалНИИпроектом, показали перспективность его применения на стадиях дезинфекции при водоподготовке.

Диоксид хлора  $\text{ClO}_2$  является эффективным дезинфицирующим средством, обладающим рядом преимуществ перед хлором. В частности, он обладает более высоким бактерицидным и вирулентным действием, отсутствием в продуктах обработки канцерогенных хлорорганических соединений, высоким дезодорирующим и окислительным действием, улучшением органолептических свойств питьевой воды, исключает необходимость перевозки, хранения и использования значительных количеств жидкого хлора, что повышает уровень безопасности населения, проживающего на ближайших территориях.

Диоксид хлора превосходит также и другие известные средства, используемые для обеззараживания и очистки питьевых и сточных вод. В отличие от перекиси водорода он обеспечивает длительное и устойчивое обеззараживание воды от вирусов и бактерий. По сравнению с гипохлоритом натрия  $\text{ClO}_2$  более устойчив, обеспечивает высокую степень окисления

органических соединений, требует меньших расходов на обработку. Диоксид хлора обычно получают на месте его потребления химическим разложением реагентов на основе хлорита ( $\text{NaClO}_2$ ), используя при этом дополнительно установленный реактор разложения хлорита натрия и далее типовое оборудование для хлорирования.

### Озонирование воды

Озонирование является одним из наиболее перспективных методов глубокой очистки природных и сточных вод. Эффективность озонирования в технологических процессах подготовки питьевой воды доказана многолетней практикой применения этого метода в производственных условиях. Обладая высоким окислительным потенциалом, озон обеспечивает возможность решения широкого круга технологических задач по окислению минеральных и органических загрязнений - обесцвечиванию, дезодорации и обеззараживанию.

Практическое значение имеют три основные системы получения озона: работающая на воздухе; работающая на воздухе, обогащенном кислородом; работающая на кислороде.

В каждом конкретном случае с учетом местных условий, стоимости производства кислорода, транспортных расходов, экономических показателей по установке в целом решается вопрос об использовании той или иной системы. Наиболее широко применяется система, работающая на воздухе. Процесс получения и дальнейшего использования озона традиционно разбивается на четыре этапа: компремирование воздуха; очистка и обезвоживание воздуха; синтез озона; растворение озона в воде.

От совершенства технического решения этих этапов и типа применяемого оборудования зависит надежность, долговечность и экономичность работы озонирующих установок.

Типовая схема синтеза озона высокого давления включает глушитель шума с фильтром, компрессор с концевым холодильником, влагоотделитель, холодильную машину, блок осушки воздуха, ресиверы сжатого и осушенного воздуха, озонатор, контактный аппарат, а также аппарат разложения остаточного озона (рисунок 73).

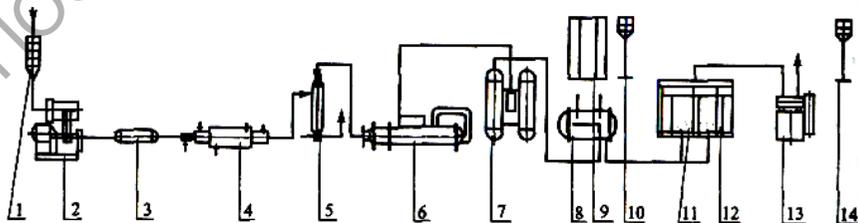


Рисунок 73 – Схема синтеза озона ОАО «Курганхиммаш»:

1 – глушитель шума с фильтром; 2 – компрессор; 3 – теплообменник-рекуператор; 4 – охладитель; 5 – влагоотделитель; 6 – холодильная машина для осушки воздуха; 7 – блок осушки воздуха; 8 – озонатор; 9 – блок питания озонатора; 10 – пост контроля загазованности помещения озоном; 11 – система диспергации; 12 – контактный аппарат; 13 – аппарат разложения остаточного озона; 14 – пост контроля выброса озона в атмосферу

*Блок компремирования.* Для подачи воздуха в напорных схемах целесообразно использовать компрессоры, обеспечивающие отсутствие в газовой смеси смазочных материалов. Характеристика устройств приведена в таблице 52.

Таблица 52 – Техническая характеристика стационарных поршневых компрессоров

Наименование показателей	Типы компрессоров			
	ЗС2ВП-10/8	ЗС5ВП-30/8	ЗГП-20/8	2ГП-4/5
Производительность, м <sup>3</sup> /мин	10	30	20	4
Абсолютное давление, всасывание, нагнетание, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,1(1)	0,1(1)	0,1(1)	0,102(1,02)
Электродвигатель (тип)	А-2-101-8В	БСДК-15-2112	ДСК- 12-24-12У4	4А280-10У3
Мощность, кВт	50	200	132	37
Частота вращения, об/мин	735	500	500	600
Габаритные размеры, мм	2540x1580x x2500	2925x1 700x x3020	2645x1620x x2650	2040x900x x2035
Масса установки, кг	2160	7760	5700	3700

Аппараты оборудованы автоматикой защиты и сигнализации по основным его параметрам.

Кроме шкафа управления, в комплект входит концевой холодильник ХПК, предназначенный для охлаждения воздуха от 140 до 30<sup>0</sup>С. В случае отсутствия в комплекте холодильника ХПК можно применить вместо него теплообменник ТАК. Для сглаживания пульсаций в воздушной смеси после компрессора и концевого холодильника устанавливается ресивер.

*Аппаратура для воздушной подготовки.* Ресиверы (воздухосборники) предназначены для выравнивания давления сжатого воздуха, сглаживания пульсаций, а также для обслуживания системы автоматического

регулирования производительности компрессора.

Для хранения запасов подготовленного осушенного воздуха второй ресивер в технологии синтеза озона устанавливается перед генераторами озона. Характеристика выпускаемых ресиверов представлена в таблице 53.

Основные размеры приведены в таблице 54.

Таблица 53 – Техническая характеристика ресиверов

Марка оборудования	Рабочее давление, МПа	Рабочая температура, °С	Рабочая среда	Внутренний объем, м <sup>3</sup>
В1	0.8	от-40 °С до +180°С	воздух	1,0
В2				2,0
В3,2				3,2
В4				4,0
В6,3				6,3
В10				10,0
В16				16,0
В20				20,0

Таблица 54 – Основные размеры ресиверов

Размеры, мм	Марка ресивера							
	В1	В2	В3,2	В4	В6,3	В10	В16	В20
h,	900	900	915	915	1000	1000	1100	1260
A,	1800	2425	2500	3250	3625	4800	4630	5750
A <sub>3</sub>	1740	3600	4010	4600	4595	5645	5550	6895
A <sub>4</sub>	850	1160	1200	1300	1500	1900	1900	2300
D	800	1200	1200	1200	1400	1600	2000	2000

Влагоотделители типа ВО предназначены для отделения капельной и аэрозольной фазы влаги и масла из сжатого воздуха (газа) со степенью влагоотделения 0,89-0,92.

Влагоотделение основано на изменении скорости и направления газового потока. Влагоотделители имеют низкое сопротивление и практически не требуют обслуживания при эксплуатации. Отвод водомасляного конденсата производится автоматическим конденсатоотводчиком.

Они применяются в пневмосетях для грубого отделения влаги (до 90%) из воздуха или в линиях подготовки для последующей тонкой очистки сжатого воздуха (газа). Наиболее эффективны при постоянных газовых потоках (в линиях после компрессоров). Техническая характеристика влагоотделителей

представлена в таблице 55.

На рисунке 74 представлен общий вид влагоотделителей ВО, а в таблице 56 приведены их основные размеры.

Холодильные машины предназначены для осушки воздуха методом охлаждения и состоят из следующих аппаратов: агрегата компрессорно-конденсаторного; блока теплообменников; ресивера; фильтра-осушителя; сборника конденсата. Они соединены между собой трубопроводами и арматурой. Техническая характеристика агрегатов представлена в таблице 57.

Таблица 55 – Технические характеристики влагоотделителей

Технические показатели	Марка оборудования		
	ВО-Ю	ВО-30	ВО-ЮО
Рабочая среда	воздух		
Рабочее давление, МПа	0,8		
Рабочая температура, °С	+35		
Производительность, м <sup>3</sup> /мин	10	30	100

Таблица 56 – Основные размеры влагоотделителей

Размеры, мм	Тип влагоотделителя		
	ВО-10	ВО-30	ВО-100
<i>L</i>	1550	1915	2825
<i>B</i>	320	375	540
<i>I</i>	2	3	4
<i>H</i>	770	770	960
<i>D</i>	219	273	400

Таблица 57 – Техническая характеристика холодильных машин

Технические показатели	Марка оборудования ОВ			
	40-2-1	ОВ-20-2-0	ОВ-7,5-2-0	ОВ-1,25-2-0
Объемная производительность, м <sup>3</sup> /мин	250	91,8	26,75	5,76
Давление, МПа	0,8	0,8	0,8	0,8
Потребляемая мощность, кВт	19,75	12,5	3,17	0,7
Род тока	Переменный, частота 50 Гц, напряжение 380 В			
Степень осушки	+5 °С			
Габаритные размеры, мм:				
длина	5700	4000	3300	2100
ширина	905	750	600	650
высота	1805	1200	1800	600

Масса, кг	3810	1400	600	150
-----------	------	------	-----	-----

Автоматические блоки воздухоподготовки предназначены для глубокой осушки и очистки сжатого воздуха с автоматическим управлением, контролем точки росы осушенного воздуха и регулированием процесса по влагонасыщению осушенного воздуха.

Блоки комплектуются системой автоматизации, гигрометром «Байкал», адсорбентом, а также фильтром пыли.

Выпускают блоки нагревного и безнагревного типа.

В таблице 58 приведены технические характеристики блоков нагревного типа.

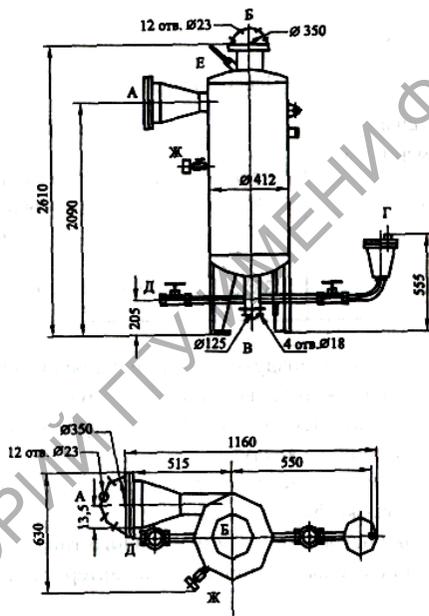


Рисунок 74 – Влагоотделитель типа ВО

Обозн.	Наименование	Кол-во	Д, мм	Ру, МПа
А	Вход воздуха	1	125	1,0
Б	Выход воздуха	1	250	1,0
В	Слив конденсата	1	50	1,0
Г	»	1	G3/4	-
Д	»	1	G1/2	-
Е	Для термометра	1	M27x1,5	-
Ж	Для манометра	1	M20x1,5	-

Таблица 58 – Техническая характеристика блоков нагревного типа

Технические показатели	Марка оборудования		
	БОВ-10	БОВ-30	БОВ-100
1	2	3	4
Производительность, м <sup>3</sup> /мин	до 10	до 30	до 100
Расход воздуха на регенерацию, м <sup>3</sup> /мин, не более	1,5	4,5	17
Среда	воздух		
Давление воздуха, МПа в режиме осушки в режиме регенерации	0,6-0,8 0,07		

Продолжение таблицы 58

1	2	3	4
Точка росы осушенного воздуха, °С на адсорбенте силикагель на адсорбенте цеолит	минус 40 минус 65		
Температура воздуха, °С на входе в блок	не выше 35		
на выходе из блока	не выше 50		
Потребляемая мощность, кВт, не более	9	4	75
Класс загрязненности осушенного воздуха по ГОСТ 17433-80	не грубее 1		

Техническая характеристика блоков безнагревного типа марок 395-229.02 и 395-230.02 представлена в таблице 59.

Таблица 59 – Техническая характеристика блоков безнагревного типа

Технические показатели	Марка оборудования	
	395-229.02	395-230.02
Производительность, м <sup>3</sup> /мин	1,28	4,00
Расход воздуха на регенерацию, м <sup>3</sup> /мин, не более	до 20% от подачи	до 20% от подачи
Среда	воздух	
Давление воздуха, МПа		
в режиме осушки	0,6-0,8	
в режиме регенерации	0,03	
Точка росы осушенного воздуха, °С	минус 40	
Температура воздуха на входе в блок (номинальная), °С	3	
Потребляемая мощность, кВт, не более	0, 1	
Класс загрязненности осушенного воздуха по ГОСТ 17433-80	не грубее 1	

*Генераторы озона.* В настоящее время промышленностью выпускается широкий спектр генераторов озона электроразрядного типа. Генераторы

озона предназначены для получения озono-воздушной смеси в стационарных условиях из сжатого осушенного и очищенного воздуха. Генераторы могут быть использованы в непрерывных технологических процессах. Генератор озона состоит из двух электропроводных поверхностей - электродов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга.

В таблице 60 представлены технические характеристики генераторов озона.

*Аппараты смешения озono-воздушной смеси с водой.* В аппаратах воды озono-воздушной смесью наиболее широко применяется метод барботажки. Аппараты и обвязочная арматура выполнены из нержавеющей стали. Техническая характеристика аппаратов ОВО представлена в таблице 61.

**Таблица 60 – Техническая характеристика озонаторов**

Технические показатели	Марка оборудования									
	П-31	П-60	П-90	П-120	П-160	П-222	П-379	П-514	П-647	П-150
Производительность по озону, кг/ч, не менее	0,63	1,5	2,6	3,65	4,8	6,7	11,5	15,6	19,6	25,8
Давление рабочее ОВС, МПа, не более	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Мощность потребляемая, кВт, не более	8	15	35	47	64	88	151	203	258	338
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч, не более	4	7	18	20	25	38	64	82	97	125
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч, не более	40	75	130	235	315	435	745	1000	1275	1670

**Таблица 61 – Техническая характеристика аппаратов ОВО**

Марка аппарата	Объем аппарата, м <sup>3</sup>	Высота H, мм	Диаметр D, мм
ОВО -1,5	1,5	3400	800
ОВО -3	3,0	3500	1100
ОВО -6	6,0	6400	1100
ОВО-10	10,0	6900	1400
ОВО -15	15,0	8810	2000
ОВО -25	25,0	9310	2000
ОВО -50	50,0	9460	2800

Для контактных камер озонирования большого объема, выполненных из железобетона на площадке очистных сооружений, используются диспергаторы марки Д-300 М-Р. Диспергатор имеет диаметр распыляющего устройства 300 мм, номинальную пропускную способность по газу 5 м<sup>3</sup>/ч (рисунок 75).

*Аппараты каталитического разложения озона.* Для обеспечения охраны окружающей среды от загрязнения выбросами озонной смеси после контактных камер используют различные аппараты по разложению озона до безвредных концентраций. Известно несколько методов разложения озон-воздуш-ной смеси: реагентный, термический и термокаталитический.

Разрабатываются направления создания низкотемпературных процессов очистки озоносодержащих выбросов. Установлено, что вредные растворы солей металлов переменной валентности являются высокоэффективными жидкофазно-каталитическими системами для очистки газовых выбросов озона.

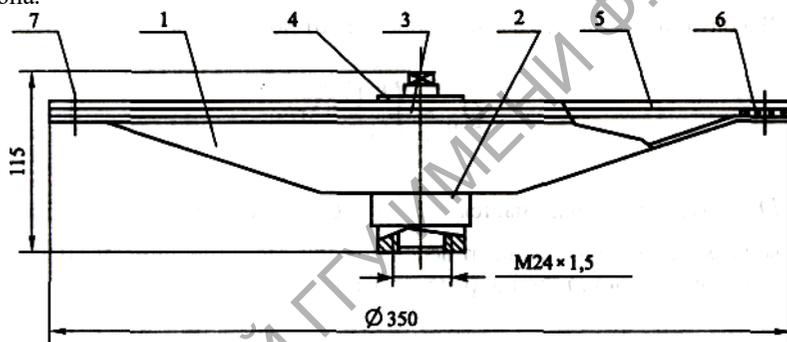


Рисунок 75 – Диспергатор Д-300 М-Р:

- 1 – корпус; 2 – распылитель; 3 – регулирующая игла; 4 – уплотняющая втулка; 5 – диск; 6 – прокладка; 7 – винт

В настоящее время выпускаются аппараты, техническая характеристика которых представлена в таблице 62.

Таблица 62 – Техническая характеристика аппаратов разложения озона

Технические показатели	Марка оборудования	
	ТК- 1600	КТО-630
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	1600	630
Потребляемая мощность, кВт	22,5	21
Тип катализатора	гопкалит ГФГ	гопкалит ГФГ
Рабочая температура, °С	90-100	90-100
Степень разложения, %	99,5 + 0,5	99,5 + 0,5

## Расчет и подбор озонаторного оборудования, блоков компримирования, воздухоподготовки

Часовую потребность в озоне определяют по формуле:

$$Q_{oz} = \frac{D \cdot Q_{час}}{K}, \text{ г/ч}, \quad (266)$$

где  $D$  – доза озона (принимается 2-4 г/м<sup>3</sup>);

$Q_{час}$  – часовой расход обрабатываемой воды, м<sup>3</sup>/ч;

$K$  – коэффициент использования озона (принимается 0,95).

Количество озонаторов определяется по формуле:

$$N = \frac{Q_{oz}}{Q_{оз1}}, \text{ шт.}, \quad (267)$$

где  $Q_{оз1}$  – единичная производительность озонатора под нагрузкой, принимается равной 75±5% от максимальной.

Марку генератора озона подбирают по таблице 60. По этой же таблице определяется расход воздуха  $Q$ , необходимый для его работы.

По этому расходу воздуха по таблицам 52, 53, 55, 57, 58, 59, 61 подбирается следующее оборудование: компрессоры (с учетом 10% запаса по производительности); влагоотделитель; холодильные машины; автоматические блоки сушки и очистки воздуха; воздухосорбники атмосферного и осушенного воздуха (должны вмещать объем воздуха 5-10-минутной производительности компрессоров); аппараты каталитического разложения озона.

*Расчет и подбор контактной камеры озонирования барботажного типа*

Если расход воды не превышает 250 м<sup>3</sup>/ч, можно использовать контактные аппараты заводского изготовления (таблица 61). Объем контактного аппарата можно подобрать по формуле (268). При этом время пребывания воды в аппарате при первичном озонировании определяется временем окисления наиболее трудноокисляемого вещества (приоритетный загрязнитель). Обычно время составляет 12-16 мин. При вторичном озонировании – 5-8 мин.

Для обработки больших объемов воды контактные камеры строят на площадке очистных сооружений из железобетона (рисунок 76). Они включают в себя три отделения: рекуперационное, первую и вторую секции. Озоно-воздушная смесь от генераторов озона подается в распылительную систему, располагающуюся в первой и второй секциях. Непрореагировавший

озон из верхней части секций с помощью химически защищенной воздуходувки или компрессора подается в рекуперационное отделение.

Объем рекуперационного отделения  $W$  рассчитывается на время пребывания воды в нем  $t_p = 2$  мин по формуле:

$$W_p = Q_{полн} \cdot t_p, \text{ м}^3, \quad (268)$$

где  $Q_{полн}$  – полная минутная производительность станции,  $\text{м}^3/\text{мин}$ .

Площадь рекуперационного отделения определяется по формуле:

$$F_p = \frac{W_p}{H}, \text{ м}^2, \quad (269)$$

где  $H$  – высота слоя воды в контактной камере (принимается не менее 4,5 м).

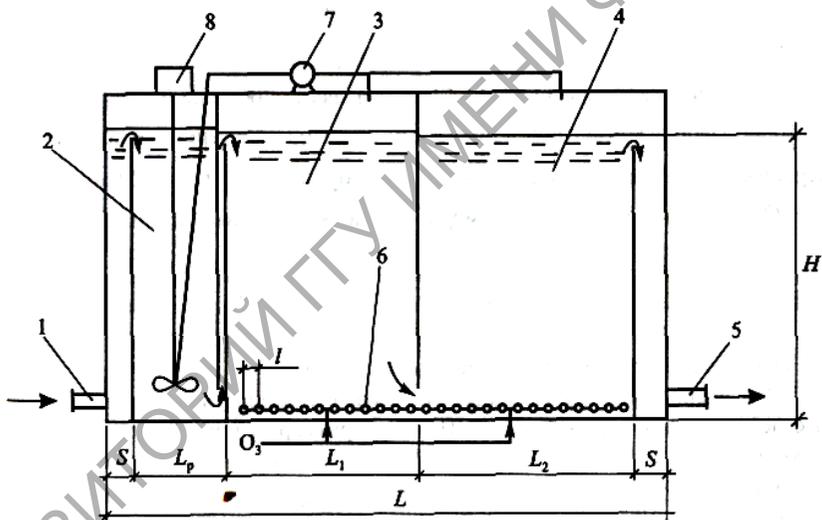


Рисунок 76 – Контактная камера озонирования барботажного типа:

1 – подача исходной воды; 2 – рекуперационное отделение; 3,4 – первая и вторая секции камеры; 5 – отвод воды; 6 – распределительная система ОВС; 7 – воздуходувка; 8 – механическая мешалка

Конструктивно принимая ширину камеры  $B = 6$  м, длина рекуперационного отделения определится из выражения:

$$L_p = \frac{F_p}{B}, \text{ м}. \quad (270)$$

Используя формулы 268-270, определяются объемы и длины первой и второй секций контактной камеры  $L_1$ ,  $L_2$ . При этом время пребывания в первой секции  $t_1$  принимается 4-5 мин, во второй секции  $t_2$  – 8-11 мин. Общая длина контактной камеры определяется из выражения:

$$L = L_1 + L_2 + 2 \cdot S, \text{ м}, \quad (271)$$

где величина  $S$  (см. рисунок 76) принимается 0,5 м.

Для распыления озono-воздушной смеси в камере используют пористые нержавеющие трубы марки ПНС-40, с размером пор 40 мкм. Диаметр труб 60 мм, длина одного элемента 800 мм, активная площадь распыления  $f = 0,075 \text{ м}^2$ . Интенсивность подачи озono-воздушной смеси  $i$  принимается 35-40  $\text{м}^3/\text{м}^2\text{-ч}$ .

При подаче озono-воздушной смеси в количестве, равном расходу воздуха генератора озона  $Q$ , необходимое количество труб составит:

$$N_T^1 = \frac{Q}{i \cdot f}, \text{ шт.} \quad (272)$$

При ширине камеры  $B = 6 \text{ м}$  на одно ответвление распылительной системы приходится  $n$  пористых труб. Задаваясь шагом между ответвлениями ( $l = 0,3-0,6 \text{ м}$ ) определяется количество ответвлений:

$$N_0 = \frac{L_1 + L_2}{l}, \text{ шт.} \quad (273)$$

Общее количество пористых труб при выбранном шаге между ответвлениями рассчитывается по формуле:

$$N_T^2 = N_0 \cdot n, \text{ шт.} \quad (274)$$

В случае  $N_T^1 > N_T^2$  шаг уменьшают, при  $N_T^1 < N_T^2$  – увеличивают для достижения примерного равенства между  $N_T^1$  и  $N_T^2$ .

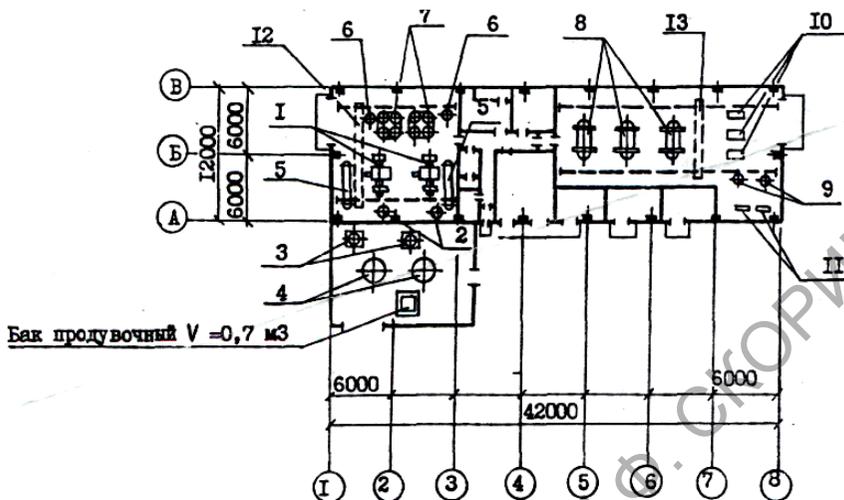


Рисунок 77 – Озонаторная производительностью 12 кг/ч по озону.

1 – компрессор; 2 – холодильник; 3 – фильтр; 4 – воздухоотделитель; 5 – теплообменник; 6 – влагоотделитель; 7 – бак осушки воздуха; 8 – озонатор; 9 – аппарат; 10 – жидкостно-кольцевой вакуум-насос; 11 – вентилятор; 12 – кран ручной; 13 – кран ручной.

### Ультрафиолетовое обеззараживание воды

Технология *ультрафиолетового обеззараживания воды* имеет неоспоримые преимущества по сравнению с технологиями хлорирования и озонирования:

1. Мгновенное обеззараживание.
2. Экологически более чистая, не создает в воде хлорорганические соединения, в т.ч. мутагены и канцерогены. Не вносит изменений в химический состав обрабатываемой воды.
3. Эффективней против вирусов.
4. Не приводит к изменению цвета и запаха воды.
5. Не связаны с применением опасных для людей химических веществ, не требует реагентного хозяйства.
6. Безопаснее и значительно проще в обслуживании.
7. Имеет возможность полной автоматизации.
8. Значительно дешевле, чем капитальные и эксплуатационные расходы при хлорировании и озонировании.

*УФ излучение* (излучение с длиной волны от 160 до 380 нанометров) обладает бактерицидным действием. При воздействии ультрафиолетового излучения на микроорганизмы, бактерии, вирусы изменяется их молекула ДНК. При попадении УФ излучения на микробные клетки разрушают белковые коллоиды и ферменты их протоплазмы. Таким образом,

болезнетворные микроорганизмы теряют способность к размножению. Максимум бактерицидного действия имеет излучение с длиной волны 253,7 нм, поэтому традиционно (более 90% производителей оборудования) используют эту длину волны. Однако иногда является более предпочтительно использование УФ ламп с длиной волны 185 нм. Дополнительным обеззараживающим эффектом в данном случае является образование озона из кислорода воздуха, растворённого в обрабатываемой воде, поэтому этот метод обеззараживания воды является по своей сути и физическим, и химическим. Достоинством обеззараживания воды с помощью УФ стерилизаторов можно считать отсутствие привнесения в воду химических реагентов, недостатком – возможность обеззараживания только очищенной (прозрачной, неокрашенной, лишенной взвесей, железа, солей жесткости) воды, а также ее нагрев в процессе обработки.

#### *Особенности конструкции*

**УФ стерилизатор** представляет собой, как правило, корпус-трубу из нержавеющей стали с патрубками входа и выхода воды, в котором закреплены герметично изолированные одна или несколько трубок из кварцевого стекла.

Это кожухи, в которые помещают лампы коротковолнового ультрафиолетового излучения. Вода, протекая в корпусе между стенками и кожухами, освещается лампой и таким образом обеззараживается.

#### **Общие для всех серий УОВ технические характеристики:**

- электропитание 220 В, 50 Гц;
- материалы корпуса УОВ: нержавеющая сталь, кварцевое стекло, фторопласт;
- бактерицидный элемент: УФ лампа в защитной кварцевой колбе с контактным проводом;
- специальный датчик измерения интенсивности УФ излучения;
- световой и визуальный контроль за работой каждой лампы;
- возможность автоматизации контроля при снижении интенсивности излучения ниже предела с выводом светового или звукового сигнала к оператору по обслуживанию;
- гарантированный ресурс непрерывной работы УФ ламп - 8000 часов;
- кран для отбора проб и система слива воды;
- система механической чистки кварцевых защитных колб при их легком съеме и установке;
- дополнительная комплектация:
  - а) система химической чистки кварцевых защитных колб
  - б) блок автоматического включения/выключения УФ-ламп

*Таблица 63 – Специальные технические характеристики УОВ*

Параметры	Серия А, питьевая вода	Серия М, глубокое обеззараживание	Серия С, очищенная сточная вода
Рабочее давление номинальное	2-6 кг/см <sup>2</sup> (0,2-0,6 МПа)	2-6 кг/см <sup>2</sup> (02-0,6 МПа)	-напорные, 0,3-2,0 кг/см <sup>2</sup> ; -самотечные
Расположение УОВ	вертикальное	вертикальное	горизонтальное и вертикальное
Доза УФ-излучения ламп, более	16 мДж/см <sup>2</sup>	33 мДж/см <sup>2</sup>	33 мДж/см <sup>2</sup>
Обеззараженная вода после УФ-установки	в соответствии с СанПиН 10-124 РБ 99 (ОМЧ < 50).	по ОМЧ до нулевых значений (0-3)	– общие колиформные бактерии (КОЕ/100мл) не более 100; – коофаги (БОЕ/100мл по фагу М2) не более 100

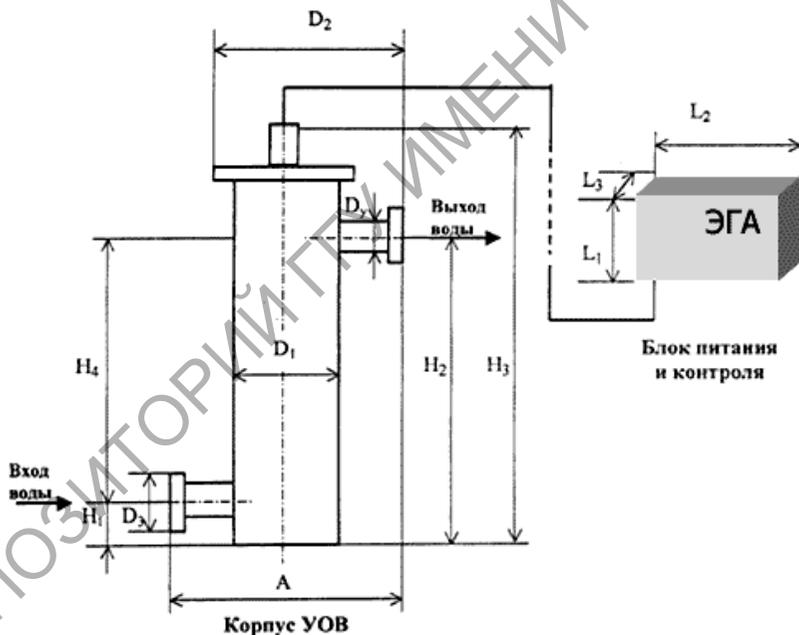


Рисунок 78 – Установка УФ-обеззараживания

Таблица 64 – Установки УФ-обеззараживания питьевой воды УОВ производства предприятия ООО "ЭГА-XXI ВЕК"

Тип	Производи-	Погребля-	Доза УФ-	Габариты, мм	Вес,	Диаметр
-----	------------	-----------	----------	--------------	------	---------

установки	тельность, м³/час	емая мощ- ность, Вт	излучения Дж/см², более		кг	патрубков, Ду, мм
Серия А. Обеззараживание питьевой воды до ГОСТ Р 51232-98 "Вода питьевая".						
УОВ-0,3	0,3	16	16	40x70x370	1,5	15
УОВ-0,6	0,6	30	16	60x110x500	3,5	15
УОВ-1	1,0	40	16	140x150x376	5	20
УОВ-2	2,0	60	16	180x190x560	7	20
УОВ-4	4,0	90	16	140x280x1010	18	50
УОВ-6	6,0	110	16	180x280x1010	22	50
УОВ-10	10,0	140	16	210x280x1010	30	50
УОВ-15	15,0	180	16	220x280x1010	32	50
УОВ-20	20,0	270	16	230x280x1010	34	50
УОВ-30	30,0	300	16	280x466x1010	52	100
УОВ-50	50,0	700	16	290x466x1010	56	100
УОВ-100	100,0	1200	16	1000x760x1236	118	205
УОВ-150	150,0	2000	16	1010x760x1236	123	205

Таблица 65– Габаритные размеры установок УФ-обеззараживания питьевой воды УОВ производства предприятия ООО "ЭГА-XXI ВЕК"

Тип	Q, м³/ ч	D <sub>y</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	A	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	В е с У О В , к г	Вес блока питани я, кг
УОВ-0,3	0,3	15	37	270	370	235	70	32	50	20	190	95	80	0,95	0,6
УОВ-0,6	0,6	17	25	415	500	390	110	55	90	26	190	95	80	2,5	0,9
УОВ-1	1,0	17	38	267	376	299	150	89	50	26	220	60	15	4	0,9
УОВ-2	2,0	24	45	382	530	377	190	129	90	33	220	60	15	6	0,9
УОВ-4	4,0	57	65	860	1010	787	280	89	52	12	180	30	10	14	3,8
УОВ-6	6,0	57	66	860	1010	787	280	111	111	111	131	31	11	11	3,8

	0		5		0	8	8	2	5	2	8	0	4	4	
						7	0	9	0	2	0	0	0		
УОВ-10	10,0	57	70	846	1010	776	280	156	122	294	300	300	140	25	5,5
УОВ-15	15,0	57	70	846	1010	776	280	156	122	294	300	300	140	26	6,0
УОВ-20	20,0	57	70	846	1010	776	280	156	122	294	300	300	140	26	6,0
УОВ-30	30,0	104	105	835	1012	730	466	226	292	196	360	360	400	43	8,5
УОВ-50	50,0	104	105	835	1010	730	466	226	292	196	360	360	400	45	9,5
УОВ-100	100,0	210	-	930	1236	-	760	376	366	366	800	600	250	10	18
УОВ-150	150,0	210	-	930	1236	-	760	376	366	366	800	600	250	10	23

Для больших расходов воды применяют безнапорные установки.

На рисунке 79 представлен общий вид безнапорной установки производительностью 3000 м³/ч, объединяющей 10 кассет типа ОВ-1П-РКС. Вода поступает через задвижку 1 и входной шибер 3, проходит последовательно через десять кассет 2, каждая из которых размещена в наклонном канале несколько ниже, чем предшествующие, для обеспечения самотечного движения воды. Для установки кассет в необходимом порядке служит распределительное устройство 4. Сверху наклонный канал закрыт крышками 5, а в конце его установлен выходной шибер 6. Для подъема кассет при замене ламповых блоков служит тельфер 7. Электропитание производится от специального шкафа.

Расчет бактерицидной установки.

Расчетный бактерицидный поток определяется по формуле:

$$F_{\bar{o}} = - \frac{Q_{\text{рас}} \cdot \alpha \cdot \kappa \cdot \lg \left( \frac{P}{P_0} \right)}{1536,4 \cdot \eta_n \cdot \eta_0}, \text{ Вт}, \quad (275)$$

где  $Q_{\text{рас}}$  – расчетный расход обеззараживаемой воды в м³/ч;

$\alpha$  – коэффициент поглощения облучаемой воды в  $\text{см}^{-1}$ , равный: для бесцветных подземных вод, получаемых из глубоких подземных горизонтов,  $0,1 \text{ см}^{-1}$ ; для родниковой, грунтовой и инфильтрационной воды  $0,15 \text{ см}^{-1}$ ; для обработанной воды поверхностных источников водоснабжения  $0,3 \text{ см}^{-1}$ ;

$k$  – коэффициент сопротивляемости облучаемых бактерий, принимаемый равным  $2500 \text{ мкВт}\cdot\text{сек}/\text{см}^2$ ;

$P_0$  – количество бактерий в 1 л воды, или коли-индекс воды, до облучения; максимальное расчетное бактериальное загрязнение исходной воды принимается равным коли-индексу  $P_0 = 1000$  (т. е. коли-титр составляет 1);

$P$  – количество бактерий в 1 л воды после облучения, или коли-индекс облученной воды, принимаемый  $\leq 3$  (т. е. коли-титр не менее 330);

$\eta_n$  – коэффициент использования бактерицидного потока; принимается равным: для установок с источником излучения погруженным  $0,9$  и непогруженным  $0,75$ ;

$\eta_0$  – коэффициент использования бактерицидного излучения, зависящий от толщины слоя воды, ее физико-химических показателей и конструктивного типа установки; принимается равным  $0,9$ .

Степень обеззараживания воды  $P/P_0$  должна лежать в пределах  $1/1000$  —  $3/1000$ .

Потребное число ламп:

$$n = \frac{F_0}{F_l}, \text{ шт.}, \quad (276)$$

где  $F_l$  – расчетный бактерицидный поток лампы, Вт.

Расход электроэнергии на обеззараживание воды вычисляется по формуле:

$$S = \frac{N \cdot n}{Q_{\text{час}}}, \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3, \quad (277)$$

где  $N$  – мощность, потребляемая одной лампой, в Вт.

Потери напора в напорной установке составляют:

$$h = 0,000022 \cdot m \cdot Q_1^2, \text{ м} \quad (278)$$

где  $m$  – принятое количество камер в одной секции;

$Q_1$  – расчетный расход воды через одну секцию установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Длина рабочей части канала безнапорной бактерицидной установки составит:

$$L = l \cdot N_k, \text{ м,} \quad (279)$$

где  $l$  – расстояние между кассетами, равное 0,4 м;

$N_k$  – общее число кассет (каждая кассета состоит из 8 бактерицидных ламп типа ОВ-1П-РКС).

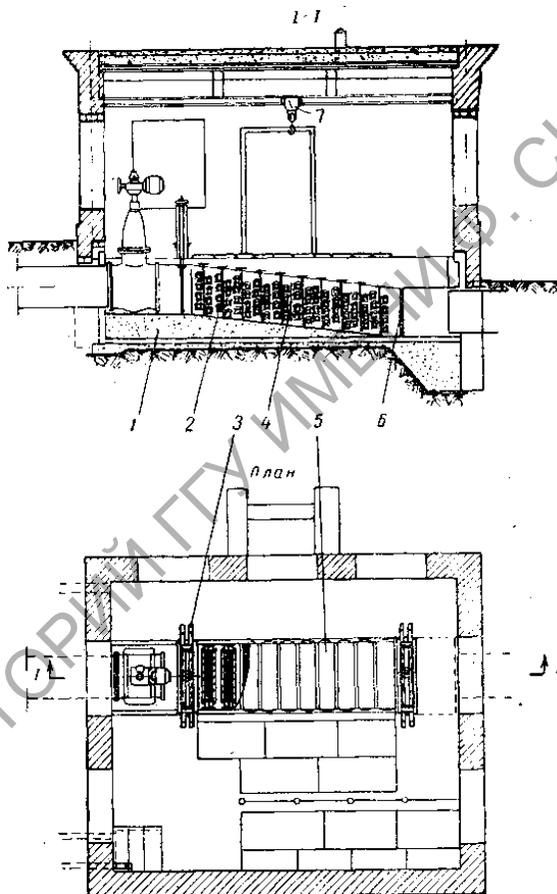


Рисунок 79 – Общий вид бактерицидной установки с десятью кассетами

### 6.16 Стабилизационная обработка воды

При отсутствии данных технологических анализов стабильность воды допускается определять по индексу насыщения карбонатом кальция  $J$

$$J = pH_0 - pH_s, \quad (280)$$

где  $pH_0$  – водородный показатель, измеренный с помощью рН-метра;

$pH_s$  – водородный показатель в условиях насыщения воды карбонатом кальция, определяемый по номограмме рисунка 80, исходя из значений содержания кальция  $C_{Ca}$ , общего солесодержания  $P$ , щелочности  $Щ$  и температуры воды  $t$ .

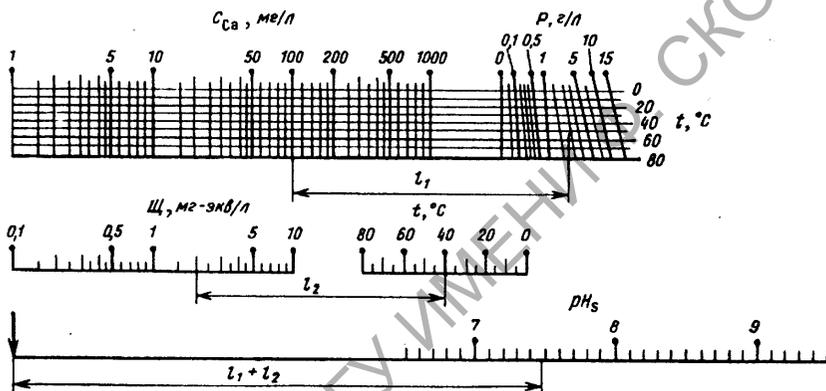


Рисунок 80 – Номограмма для определения  $pH$  насыщения воды карбонатом кальция ( $pH_s$ )

**Пример.** Дано:  $C_{Ca} = 100$  мг/л;  $Щ = 2$  мг-экв/л;  $P = 3$  г/л;  $t = 40^\circ\text{C}$ . Ответ:  $pH_s = 7,47$  мг/л

Для защиты металлических труб от коррозии и образования бугристых коррозионных отложений, стабилизационную обработку воды следует предусматривать при индексе насыщения 0,3 более трёх месяцев в году.

При определении необходимости стабилизационной обработки воды надлежит учитывать изменение её качества в результате предшествующей обработки (коагулирования, умягчения, аэрации и т.п.).

Для вод подвергаемых обработке минеральными коагулянтами (сернистым алюминием, хлорным железом и т.п.), при подсчете индекса насыщения следует учитывать снижение  $pH$  и щелочности воды вследствие добавления в неё коагулянта.

Щелочность воды после её коагулирования  $Щ_k$  следует определять по формуле:

$$Ш_к = Ш_0 - Д_к / e_к, \text{ мг-экв/л}, \quad (281)$$

где  $Ш_0$  – щелочность исходной воды (до коагулирования), мг-экв/л;  
 $Д_к$  – доза коагулянта в расчете на безводный продукт, мг/л;  
 $e_к$  – эквивалентная масса безводного вещества коагулянта, мг/мг-экв, принимаемая согласно см. формулу 11.

Количество свободной двуокиси углерода в воде после коагулирования следует определять по номограмме рисунок 67 при известной величине pH коагулированной воды, а при неизвестном pH по формуле

$$(CO_2)_{св} = (CO_2)_0 + 44 \cdot Д_к / e_к, \text{ мг/л}, \quad (282)$$

где  $(CO_2)_0$  – концентрация двуокиси углерода в исходной воде до коагулирования, мг/л.

При положительном индексе насыщения для предупреждения зарастания труб карбонатом кальция воду следует обрабатывать кислотой (серной или соляной), гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия.

Дозу кислоты  $Д_{кис}$  (в расчете на товарный продукт) следует определять по формуле

$$Д_{кис} = 100 \alpha_{кис} \cdot Ш \cdot e_{кис} / C_{кис}, \text{ мг/л}, \quad (283)$$

где  $\alpha_{кис}$  – коэффициент, определяемый по номограмме рисунок 81;  
 $Ш$  – щелочность воды до стабилизационной обработки, мг-экв/л;  
 $e_{кис}$  – эквивалентная масса кислоты, мг/мг-экв (для серной кислоты – 49, для соляной кислоты – 36,5);  
 $C_{кис}$  – содержание активной части в товарной кислоте, % (72–95 %).

Дозу гексаметафосфата или триполифосфата натрия (в расчете на  $P_2O_5$ ) надлежит принимать:

для хозяйственно-питьевых водопроводов – не более 2,5 мг/л (3,5 мг/л в расчете на  $PO_4$ );

для производственных водопроводов – до 4 мг/л.

При отрицательном индексе насыщения воды карбонатом кальция для получения стабильной воды следует предусматривать её обработку щелочными реагентами (известью, содой или этими реагентами совместно), гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия.

Дозу извести (в расчете на CaO) следует определять по формуле

$$Д_и = 28 \beta_u \cdot K_i Ш, \text{ мг/л}, \quad (284)$$

где  $Д_и$  – доза извести, мг/л, в расчете на CaO;

$\beta_u$  – коэффициент определяемый по номограмме рисунка 82 в зависимости от рН воды (до стабилизационной обработки) и индекса насыщения  $J$ ;

$K_t$  – коэффициент, зависящий от температуры воды: при  $t = 20^\circ\text{C}$  –  $K_t = 1$ , при  $t = 50^\circ\text{C}$  –  $K_t = 1,3$ ;

$\text{Щ}$  – щелочность воды до стабилизационной обработки, мг-экв/л.

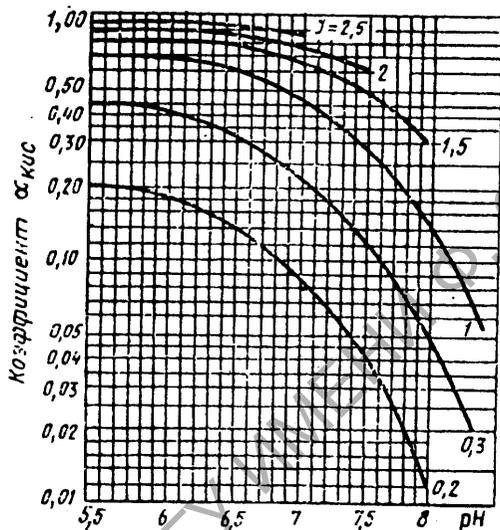


Рисунок 81 – Номограмма для определения коэффициента  $\alpha_{\text{кис}}$  при расчете дозы кислоты

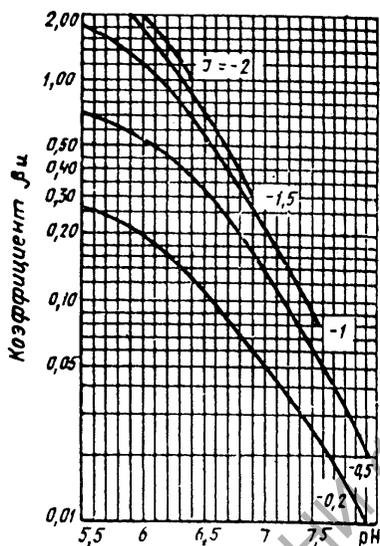


Рисунок 82 – Номограмма для определения коэффициента  $\beta_i$  при расчете дозы щелочи

Дозу соды в расчете  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , мг/л, надлежит принимать в 3-3,5 раза больше дозы извести в расчете на  $\text{CaO}$ , мг/л.

Если по формуле (284) доза извести  $D_{и/28}$  получается больше величины  $d_{и}$ , мг-экв/л, определяемой по формуле

$$d_{и} = 0,7[(\text{CO}_2)/22 + \text{Щ}], \text{ мг-экв/л}, \quad (285)$$

то в воду кроме извести в количестве  $d_{и}$ , мг экв/л, следует вводить также соду, дозу которой  $D_c$ , надлежит определять по формуле

$$D_c = (D_{и/28} d_{и}) \cdot 100, \text{ мг/л}. \quad (286)$$

Следует предусматривать возможность одновременно с введением щелочных реагентов дозировать гексаметафосфат или триполифосфат натрия дозой 0,5–1,5 мг/л (в расчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) для повышения степени равномерности распределения защитной карбонатной пленки по длине трубопроводов.

При проектировании систем обработки воды гексаметафосфатом натрия или триполифосфатом натрия (без щелочных реагентов) для борьбы с коррозией стальных и чугунных труб производственных трубопроводов следует предусматривать дозы этих реагентов 5–10 мг/л (в расчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Для хозяйственно-питьевых водопроводов дозы указанных реагентов не должны превышать 2,5 мг/л в расчете на  $P_2O_5$ .

В случаях обработки воды гексаметафосфатом натрия без щелочных реагентов при вводе в эксплуатацию участков новых трубопроводов для снижения интенсивности коррозии следует предусматривать заполнение их на 2–3 суток раствором гексаметафосфата или триполифосфата натрия концентрацией 100 мг/л (в расчете на  $P_2O_5$ ) с последующим сбросом этого раствора и промывкой трубопроводов водой с дозами указанных реагентов (в расчете на  $P_2O_5$ ): 5–10 мг/л – для производственных водопроводов и 2,5 мг/л – для хозяйственно-питьевых водопроводов.

Приготовление растворов гексаметафосфата и триполифосфата натрия для обработки воды должно производиться в растворорасходных баках с антикоррозионной защитой. Концентрацию растворов надлежит принимать от 0,5 до 3 % в расчете на товарные продукты, при этом продолжительность растворения с применением механических мешалок или сжатого воздуха – 4 ч при температуре воды 20 °С и 2 ч при температуре 50 °С.

При стабилизационной обработке воды следует предусматривать возможность введения щелочных реагентов в смеситель, перед фильтрами и в фильтрованную воду перед вторичным хлорированием.

При введении реагента перед фильтрами и фильтрованную воду должна быть обеспечена высокая степень очистки щелочных реагентов и их растворов. Приготовление известкового молока и раствора соды и их дозирование следует предусматривать согласно п. 6.4.

Введение щелочных реагентов перед смесителями и фильтрами допускается производить в тех случаях, когда это не ухудшает эффекта очистки воды (в частности, снижения цветности).

Для формирования защитной пленки карбоната кальция на внутренней поверхности трубопровода в первый период его эксплуатации надлежит предусматривать возможность увеличения доз щелочных реагентов по сравнению с определяемой по тем же формулам.

Уточнение доз щелочных реагентов, а также продолжительности периода формирования защитной карбонатной пленки производится в процессе эксплуатации трубопровода на основе проведения технологических и химических анализов воды, а также наблюдается за индикаторами коррозии. Этими наблюдениями определяется также целесообразность поддержания небольшого перенасыщения воды карбонатом кальция после начального периода формирования защитной карбонатной пленки на стенах труб.

При формировании защитной карбонатной пленки в трубопроводах систем хозяйственно-питьевого водоснабжения значение рН обработанной щелочными реагентами воды не должно превышать величины, допускаемой СанПиН 10-124 РБ 99.

Проектирование стабилизационной обработки маломинерализованных вод с содержанием кальция менее 20–30 мг/л и щелочностью 11,5 мг-экв/л следует производить только на основе предпроектных технологических изысканий. При необходимости повышения концентраций в воде кальция<sup>2+</sup> и гидрокарбонатов (HCO<sub>3</sub>) следует предусматривать совместную обработку воды двуокисью углерода (CO<sub>2</sub>) и известью.

### 6.17 Резервуары чистой воды

Емкости в системах водоснабжения в зависимости от назначения должны включать регулирующий, пожарный, аварийный и контактный объемы воды.

Регулирующий объем воды  $W_p$  в емкостях (резервуарах, баках водонапорных башен, контррезервуарах и др.) должен определяться на основании графиков поступления и отбора воды, а при их отсутствии по формуле

$$W_p = Q_{\text{сут. max}} \cdot \left[ 1 - K_n + (K_q - 1) \left( K_n / K_q \right)^{K_q / (K_q - 1)} \right], \text{ м}^3, \quad (287)$$

где  $Q_{\text{сут. max}}$  – расход воды в сутки максимального водопотребления, м<sup>3</sup>/сут;

$K_n$  – отношение максимальной часовой подачи воды в регулируемую емкость при станциях водоподготовки, насосных станциях или в сеть водопровода с регулирующей емкостью к среднему часовому расходу в сутки максимального водопотребления;

$K_q$  – коэффициент часовой неравномерности отбора воды из регулирующей емкости или сети водопровода с регулирующей емкостью, определяемой как отношение максимального часового отбора к среднему часовому расходу в сутки максимального водопотребления.

Максимальный часовой отбор воды непосредственно на нужды потребителей, не имеющих регулирующих емкостей, следует принимать равным максимальному часовому водопотреблению. Максимальный часовой отбор воды из регулирующей емкости насосами для подачи в водопроводную сеть при наличии на сети регулирующей емкости определяется по максимальной часовой производительности насосной станции.

В емкостях на станциях водоподготовки следует предусматривать дополнительно объем воды на промывку фильтров.

Пожарный объем воды надлежит предусматривать в случаях, когда получение необходимого количества воды для тушения пожара

непосредственно из источника водоснабжения технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Пожарный объем воды в резервуарах должен определяться из условия обеспечения:

- пожаротушения из наружных гидрантов и внутренних пожарных кранов;
- специальных средств пожаротушения (спринклеров, дренчеров и др., не имеющих собственных резервуаров);
- максимальных хозяйственно-питьевых и производственных нужд на весь период пожаротушения.

При определении пожарного объема воды в резервуарах допускается учитывать пополнение его во время тушения пожара, если подача воды в них осуществляется системами водоснабжения I и II категорий.

При подаче воды по одному водоводу в емкостях следует предусматривать:

- аварийный объем воды, обеспечивающий в течение времени ликвидации аварии на водоводе расход воды на хозяйственно-питьевые нужды в размере 70% расчетного среднечасового водопотребления и производственные нужды по аварийному графику;
- дополнительный объем воды на пожаротушение в размере.

*Примечания:* 1. Время, необходимое для восстановления аварийного объема воды, надлежит принимать 36-48 ч.

2. Восстановление аварийного объема воды следует предусматривать за счет снижения водопотребления или использования резервных насосных агрегатов.

3. Дополнительный объем воды па пожаротушение допускается не предусматривать при длине одной линии водовода не более 500 м до населенных пунктов с числом жителей до 5000 чел., а также для промышленных и сельскохозяйственных предприятий при расходе воды на наружное пожаротушение не более 40 л/с.

Емкости и их оборудование должны быть защищены от замерзания воды.

В емкостях для питьевой воды должен быть обмен пожарного и аварийного объемов воды в срок не более 48 ч.

*Примечание.* При обосновании срок обмена воды в емкостях допускается увеличивать до 3-4 сут. При этом следует предусматривать установку циркуляционных насосов, производительность которых должна определяться из условия замены воды в емкостях в срок не более 48 ч с учетом поступления воды из источника водоснабжения.

Резервуары для воды и баки водонапорных башен должны быть оборудованы: подводящими и отводящими трубопроводами или объединенным подводяще-отводящим трубопроводом, переливным устройством, спускным трубопроводом, вентиляционным устройством,

скобами или лестницами, люками-лазами для прохода людей и транспортирования оборудования.

В зависимости от назначения емкости дополнительно следует предусматривать:

- устройства для изменения уровня воды, контроля вакуума и давления; световые люки диаметром 300 мм (в резервуарах для воды непитьевого качества);

- промывочный водопровод (переносной или стационарный);

- устройство для предотвращения перелива воды из емкости (средства автоматики или установка на подающем трубопроводе поплавкового запорного клапана);

- устройство для очистки поступающего в емкость воздуха (в резервуарах для воды питьевого качества).

На конце подводящего трубопровода в резервуарах и баках водонапорных башен следует предусматривать диффузор с горизонтальной кромкой или камеру, верх которых должен располагаться на 50-100 мм выше максимального уровня воды в емкости.

На отводящем трубопроводе в резервуаре надлежит предусматривать конфузор, при диаметре трубопровода до 200 мм допускается применять клапан, размещаемый в приемке.

Расстояние от кромки конфузора до дна и стен емкости или приемки следует определять из расчета скорости подхода воды к конфузору не более скорости движения воды во входном сечении.

Горизонтальная кромка конфузора, устраиваемого в днище резервуара, а также верх приемки должны быть на 50 мм выше набетонки днища.

На отводящем трубопроводе или приемке необходимо предусматривать решетку.

Вне резервуара или водонапорной башни на отводящем (подводяще-отводящем) трубопроводе следует предусматривать устройство для отбора воды автоцистернами и пожарными машинами.

Переливное устройство должно быть рассчитано на расход, равный разности максимальной подачи и минимального отбора воды. Слой воды на кромке переливного устройства должен быть не более 100 мм.

В резервуарах и водонапорных башнях, предназначенных для питьевой воды, на переливном устройстве должен быть предусмотрен гидравлический затвор.

Спускной трубопровод надлежит проектировать диаметром 100-150 мм в зависимости от объема емкости. Днище емкости должно иметь уклон не менее 0,005 в сторону спускного трубопровода.

Спускные и переливные трубопроводы следует присоединять (без подтопления их концов):

- от емкостей для воды непитьевого качества – к канализации любого

назначения с разрывом струи или к открытой канаве;

– от емкостей для питьевой воды – к дождевой канализации или к открытой канаве с разрывом струи.

При присоединении переливного трубопровода к открытой канаве необходимо предусматривать установку на конце трубопровода решетки с прозорами 10 мм.

При невозможности или нецелесообразности сброса воды по спускному трубопроводу самотеком следует предусматривать колодец для откачки воды передвижными насосами.

Впуск и выпуск воздуха при изменении положения уровня воды в емкости, а также обмен воздуха в резервуарах для хранения пожарного и аварийного объемов надлежит предусматривать через вентиляционные устройства, исключающие возможность образования вакуума, превышающего 80 мм вод. ст.

В резервуарах воздушное пространство над максимальным уровнем до нижнего ребра плиты или плоскости перекрытия следует принимать от 200 до 300 мм. Ригели и опоры плит могут быть подтоплены, при этом необходимо обеспечить воздухообмен между всеми отсеками покрытия.

Люки-лазы должны располагаться вблизи от концов подводящего, отводящего и переливного трубопроводов. Крышки люков в резервуарах для питьевой воды должны иметь устройства для запираания и пломбирования. Люки резервуаров должны возвышаться над утеплением перекрытия на высоту не менее 0,2 м.

В резервуарах для питьевой воды должна быть обеспечена полная герметизация всех люков.

Общее количество резервуаров одного назначения в одном узле должно быть не менее двух.

Во всех резервуарах в узле наинизшие и наивысшие уровни пожарных, аварийных и регулирующих объемов должны быть соответственно на одинаковых отметках.

При включении одного резервуара в остальных должно храниться не менее 50% пожарного и аварийного объемов воды.

Оборудование резервуаров должно обеспечивать возможность независимого включения и опорожнения каждого резервуара.

Устройство одного резервуара допускается в случае отсутствия в нем пожарного и аварийного объемов.

Конструкции камер задвижек при резервуарах не должны быть жестко связаны с конструкцией резервуаров.

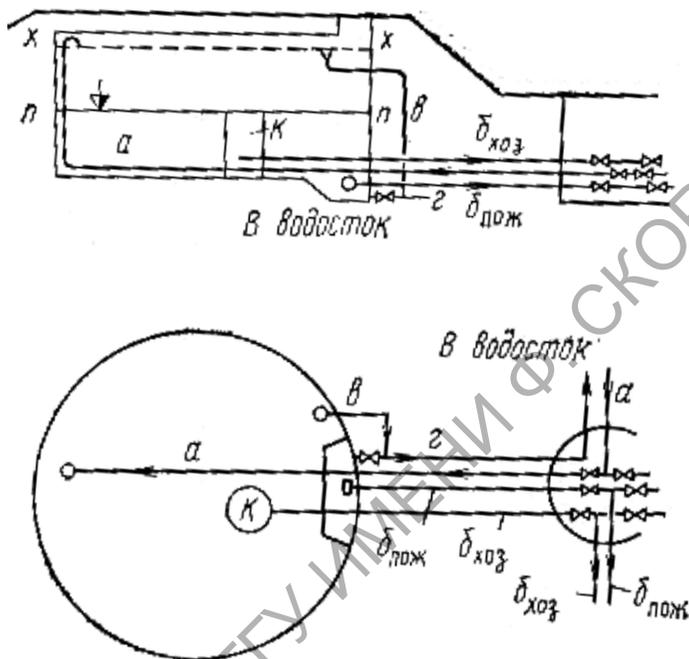


Рисунок 83 – Схема коммуникаций для резервуара чистой воды:

$хх$  – максимальный уровень воды в резервуаре;  $лл$  – уровень пожарного запаса воды;  $а$  – подача воды в резервуар от станции водоподготовки;  $б_{хоз}$  – трубопровод подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды на НС II подъема;  $б_{пож}$  – трубопровод подачи воды на противопожарные нужды на НС II подъема;  $в$  – переливной трубопровод;  $г$  – спускная труба в водосток.

Общий объем резервуара чистой воды  $W$ , определяем по формуле:

$$W = W_p + W_{пож} + W_{ав}, \text{ м}^3, \quad (288)$$

где  $W_p$  – регулирующий объем воды,  $\text{м}^3$ ;

$W_{пож}$  – полный неприкосновенный противопожарный запас воды,  $\text{м}^3$ ;

$W_{оч}$  – объем воды на собственные нужды станции.

Полный неприкосновенный противопожарный объем воды,  $\text{м}^3$ , определяется по формуле:

$$W_{\text{пож}} = 3,6 \cdot t \cdot q_{\text{пож}} \cdot n + \sum Q_{\text{max}} - 3 \cdot Q_1, \quad (289)$$

где  $t$  – продолжительность тушения пожара, принимаем 3 ч;  
 $q_{\text{пож}}$  – расход воды на тушение пожара, л/с (табл. 5 [1]);  
 $n$  – расчетное число одновременных пожаров по (табл. 5 [2]);  
 $\sum Q_{\text{max}}$  – объем воды за три непрерывных наибольших часа водопотребления, м<sup>3</sup>. Принимается по ступенчатому графику водопотребления;  
 $Q_1$  – подача насосной станции первого подъема, м<sup>3</sup>.

## 7 НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ И ПОДЪЕМА

Насосные станции по степени обеспеченности подачи воды следует подразделять на три категории, принимаемые в соответствии с [1].

Категорию насосных станций необходимо устанавливать в зависимости от их функционального назначения в общей системе водоснабжения.

Выбор типа насосов и количества рабочих агрегатов надлежит производить на основании расчетов совместной работы насосов, водоводов, сетей, регулирующих емкостей, суточного и часового графиков водопотребления, условий пожаротушения, очередности ввода в действие объекта.

При выборе типа насосных агрегатов надлежит обеспечивать минимальную величину избыточных напоров, развиваемых насосами при всех режимах работы, за счет использования регулирующих емкостей, регулирования числа оборотов, изменения числа и типов насосов, обрезки или замены рабочих колес в соответствии с изменением условий их работы в течение расчетного срока.

В машинных залах допускается установка групп насосов различного назначения.

В насосных станциях, подающих воду на хозяйственно-питьевые нужды, установка насосов, перекачивающих пахучие и ядовитые жидкости, запрещается, за исключением насосов, подающих раствор пенообразователя в систему пожаротушения.

В насосных станциях для группы насосов одного назначения, подающих воду в одну и ту же сеть или водоводы, количество резервных агрегатов следует принимать согласно таблице 66.

Таблица 66 – Определение резервных насосных агрегатов

Количество рабочих агрегатов одной группы	Количество резервных агрегатов в насосных станциях для категории		
	I	II	III
До 6	2	1	1

Св. 6 до 9	2	1	-
> 9	2	2	-

*Примечания:* 1. В количество рабочих агрегатов включаются пожарные насосы

2. Количество рабочих агрегатов одной группы, кроме пожарных, должно быть не менее двух. В насосных станциях II и III категорий при обосновании допускается установка одного рабочего агрегата

3. При установке в одной группе насосов с разными характеристиками количество резервных агрегатов следует принимать для насосов большей производительности по таблице 6б, а резервный насос меньшей производительности хранить на складе.

4. В насосных станциях объединенных противопожарных водопроводов высокого давления или при установке только пожарных насосов следует предусматривать один резервный пожарный агрегат, независимо от количества рабочих агрегатов

5. В насосных станциях водопроводов населенных пунктов с числом жителей до 5 тыс. чел. при одном источнике электроснабжения следует устанавливать резервный пожарный насос с двигателем внутреннего сгорания и автоматическим запуском (от аккумуляторов).

6. В насосных станциях II категории при количестве рабочих агрегатов десять и более один резервный агрегат допускается хранить на складе.

7. Для увеличения производительности заглубленных насосных станций до 20 – 30 % следует предусматривать возможность замены насосов на большую производительность или устройство резервных фундаментов для установки дополнительных насосов.

Отметку оси насосов следует определять, как правило, из условия установки корпуса насосов под заливом:

в емкости – от верхнего уровня воды (определяемого от дна) пожарного объема при одном пожаре, среднего – при двух и более пожарах; от уровня воды аварийного объема при отсутствии пожарного объема; от среднего уровня воды при отсутствии пожарного и аварийного объемов;

При определении отметки оси насосов следует учитывать допустимую вакуумметрическую высоту всасывания (от расчетного минимального уровня воды) или требуемый заводом-изготовителем необходимый подпор со стороны всасывания, а также потери напора во всасывающем трубопроводе, температурные условия и барометрическое давление.

В насосных станциях II и III категорий допускается установка насосов не под залив, при этом следует предусмотреть вакуум-насосы и вакуум-котел.

Отметку пола машинных залов заглубленных насосных станций следует определять исходя из габаритов насосов и производительности или габаритов.

В насосных станциях III категории допускается установка на

всасывающем трубопроводе приемных клапанов диаметром до 200 мм.

Количество всасывающих линий к насосной станции независимо от числа и групп установленных насосов, включая, пожарные должно быть не менее двух.

При выключении одной линии остальные должны быть рассчитаны на пропуск полного расчетного расхода для насосных станций I и II категорий и 70 % расчетного расхода для III категории.

Устройство одной всасывающей линии допускается для насосных станций III категории.

Количество напорных линий от насосных станций I и II категорий должно быть и менее двух. Для насосных станций III категории допускается устройство одной напорной линии.

Размещение запорной арматуры на всасывающих и напорных трубопроводах должно обеспечивать возможность замены или ремонт любого из насосов, обратных клапанов и основной запорной арматуры, а также проверки характеристики насосов без нарушения требований по обеспеченности подачи воды

Напорная линия каждого насоса должна быть оборудована запорной арматурой и, как правило, обратным клапаном, устанавливаемым между насосом и запорной арматурой

При установке монтажных вставок их следует размещать между запорной арматурой и обратным клапаном.

На всасывающих линиях каждого насоса запорную арматуру следует устанавливать у насосов, расположенных под заливом или присоединенных к общему всасывающему коллектору.

Диаметр труб, фасонных частей и арматуры следует принимать на основании технико-экономического расчета исходя из скоростей движения воды в пределах, указанные в таблице 67.

Для уменьшения габаритов станции в плане допускается устанавливать насосы с правым и левым вращением вала, при этом рабочее колесо должно вращаться только в одном направлении.

Всасывающие и напорные коллекторы с запорной арматурой следует располагать в здании насосной станции, если это не вызывает увеличения пролета машинного зала.

**Таблица 67 – Скорость движения воды в трубопроводах насосных станций**

Диаметр труб, мм	Скорость движения воды в трубопроводах насосных станций, м/с	
	всасывающие	напорные
До 250	0,6 – 1,0	0,8 – 2,0
Св. 250 до 800	0,8 – 1,5	1,0 – 3,0
Св. 800	1,2 – 2,0	1,5 – 4,0

Трубопроводы в насосных станциях, а также всасывающие линии за

пределами машинного зала, как правило, следует выполнять из стальных труб на сварке с применением фланцев для присоединения к арматуре и насосам.

Всасывающий трубопровод, как правило, должен иметь непрерывный подъем к насосу не менее 0,005. В местах изменения диаметров трубопроводов следует применять эксцентрические переходы.

В заглубленных и полугаглубленных насосных станциях должны быть предусмотрены мероприятия против возможного затопления агрегатов при аварии в пределах машинного зала на самом крупном по производительности насосе, а также запорной арматуре или трубопроводе путем: расположения электродвигателей насосов на высоте не менее 0,5 м от пола машинного зала; самотечного выпуска аварийного количества воды в канализацию или на поверхность земли с установкой клапана или задвижки; откачки воды из приемка основными насосами производственного назначения.

При необходимости установки аварийных насосов производительность их надлежит определять из условия откачки воды из машинного зала при ее слое 0,5 м не более 2 ч и предусматривать один резервный агрегат.

Для стока воды полы и каналы машинного зала надлежит проектировать с уклоном к сборному приемку. На фундаментах под насосы следует предусматривать бортики, желобки и трубки для отвода воды. При невозможности самотечного отвода воды из приемка следует предусматривать дренажные насосы.

В заглубленных насосных станциях, работающих в автоматическом режиме, при заглублении машинного зала 20 м и более, а также в насосных станциях с постоянным обслуживающим персоналом при заглублении 15 м и более следует предусматривать устройство пассажирского лифта.

Насосные станции размером машинного зала 6х9 м и более должны оборудоваться внутренним противопожарным водопроводом с расходом воды 2,5 л/с.

Кроме того, следует предусматривать:

при установке электродвигателей напряжением до 1000 В и менее: два ручных пенных огнетушителя, а при двигателях внутреннего сгорания до 300 л.с. – четыре огнетушителя;

при установке электродвигателей напряжением свыше 1000 В или двигателя внутреннего сгорания мощностью более 300 л.с. следует предусматривать дополнительно два углекислотных огнетушителя, бочку с водой вместимостью 250 л, два куска войлока, асбестового полотна или кошмы размером 2х2 м.

В насосной станции независимо от степени ее автоматизации следует предусматривать санитарный узел (унитаз и раковину), помещение и шкафчик для хранения одежды эксплуатационного персонала (дежурной

ремонтной бригады).

При расположении насосной станции на расстоянии не более 50 м от производственных зданий, имеющих санитарно-бытовые помещения, санитарный узел допускается не предусматривать.

Для насосной станции, расположенной вне населенного пункта или объекта, допускается устройство выгребов.

В отдельно расположенной насосной станции для производства мелкого ремонта следует предусматривать установку верстака.

В насосных станциях с двигателями внутреннего сгорания допускается размещать расходные емкости с жидким топливом (бензина до 250 л, дизельного топлива до 500 л) в помещениях, отделенных от машинного зала несгораемыми конструкциями с пределом огнестойкости не менее 2 ч.

В насосных станциях должна быть предусмотрена установка контрольно-измерительной аппаратуры в соответствии с указаниями [1].

## **8 ВЫСОТНАЯ СХЕМА СООРУЖЕНИЙ НА СТАНЦИЯХ ВОДОПОДГОТОВКИ**

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

При компоновке очистных сооружений чрезвычайно важно:

- 1) компактно их разместить с обеспечением удобства эксплуатации;
- 2) создать условия самотечного движения воды на всем ее пути — от оголовного сооружения очистной станции до резервуара чистой воды.

Для самотечного движения воды в очистных сооружениях следует по возможности использовать рельеф местности. Это позволяет уменьшить заглубление сооружений и, следовательно, сократить объем земляных работ и удешевить устройство фундаментов. Тем самым достигается снижение строительной стоимости очистной станции.

Применение напорных схем целесообразно только на станциях небольшой производительности обычно для осветления воды в одну ступень — напорных фильтрах.

Величины перепадов уровней воды в сооружениях и соединительных коммуникациях должны определяться расчетами; для предварительного высотного расположения сооружений потери напора допускается принимать, м, по таблице 68.

**Таблица 68 – Потери напора при движении воды между сооружениями очистной станции и в самих сооружениях (для ориентировочных расчетов)**

<i>в сооружениях, м</i>
-------------------------

на сетчатых барабанных фильтрах (барабанных сетках и микрофильтрах)	0,4 - 0,6
во входных (контактных) камерах	0,3 - 0,5
в устройствах ввода реагента	0,1 - 0,3
в гидравлических смесителях	0,5 - 0,6
в механических смесителях	0,1 - 0,2
в гидравлических камерах хлопьеобразования	0,4 - 0,5
в механических камерах хлопьеобразования	0,1 - 0,2
в отстойниках	0,7 - 0,8
в осветлителях со взвешенным осадком	0,7 - 0,8
на скорых фильтрах	3,0 - 3,5
в контактных осветлителях и префильтрах	2,0 - 2,5
в медленных фильтрах	1,5 - 2,0
<i>в соединительных коммуникациях, м</i>	
от сетчатых барабанных фильтров или входных камер к смесителям	0,2
от смесителей к отстойникам, осветлителям со взвешенным осадком и контактным осветлителям	0,3 - 0,4
от отстойников, осветлителей со взвешенным осадком или префильтров к фильтрам	0,5 - 0,6
от фильтров или контактных осветлителей к резервуарам фильтрованной воды	0,4 - 1,0

*Примечания:* 1. В приведенных значениях учтены потери напора в сборных, подающих и распределительных устройствах сооружений.

2. Потери напора в измерительной аппаратуре должны учитываться дополнительно из расчета: на выходе и входе со станции – по 0,5 м; в индикаторах расхода на отстойниках, осветлителях со взвешенным осадком, фильтрах и контактных осветлителях – по 0,2–0,3 м.

3. При определении расчетами перепадов уровней воды между сооружениями и потерь напора в соединительных коммуникациях следует принимать расчетные расходы воды с учетом пропуска расхода воды на 20–30% больше расчетного.

На станциях водоподготовки должна предусматриваться система обводных коммуникаций, обеспечивающая возможность отключения отдельных сооружений, а также подачу воды при аварии, минуя сооружения.

При производительности станций более 100 тыс.м<sup>3</sup>/сут обводные коммуникации допускается не предусматривать.

**Пример.** Составление высотной схемы (при самотечном движении воды) начинаем с конечного сооружения, т. е. с резервуара чистой воды, задавшись отметкой наивысшего уровня воды в нем. Эта отметка должна быть на 0,25—0,5 м выше отметки земли.

В рассматриваемом примере (рисунок 84) отметка уровня воды в

резервуаре 4 принята +0,3 м. Отметка – 1,7 м соответствует уровню противопожарного запаса воды в резервуаре, а устройство петли на этой отметке предупреждает захват противопожарного запаса промывным насосом. Перепад уровней воды на фильтре 3 и в резервуаре чистой воды 4 принимаем равным 3,3 м для преодоления сопротивлений: 1) в песчаной загрузке фильтра при движении в нем воды к концу фильтроцикла 2,9 м; 2) на пути от фильтрованной станции до резервуара чистой воды 0,4 м. Следовательно, отметка поверхности воды на фильтре будет:  $0,3+2,9+0,4=3,6$  м.

Отметка уровня воды в осветлителе будет:  $3,6 + 0,1 + 0,6 = 4,3$  м (где 0,1 м – потери напора на пути от осветлителя до фильтра; 0,6 м – глубина погружения труб для сбора и отвода воды в осветлителе, считая от поверхности воды в нем до низа труб). Отметка уровня воды в смесителе составит:  $4,3 + 0,3 + 0,6 + 0,1 = 5,3$  м (где 0,3 м – потери напора на пути от смесителя к осветлителю; 0,6 м – потери напора в осветлителе; 0,1 м – перепад уровней воды в смесителе и его боковом кармане).

Потерю напора в смесителе, равную 0,4–0,5 м, учитывают при определении высоты напора насосов I подъема, подающих воду на станцию очистки воды, а также насосов-дозаторов 10 и 11.

Определение потерь напора при промывке скорого фильтра приводится в п. 6.11.

Если вода для промывки фильтра подается не промывными насосами, а из возвышенного бака, то отметка дна его над отметкой верхней кромки желобов, расположенных над загрузкой фильтра, для рассматриваемого случая должна быть:

$$H = h_p + h_z + h_m + h_{жс}, \text{ м}, \quad (290)$$

где  $h_p$  – потери напора в распределительной системе фильтра, составляющие 4–4,5 м;

$h_z$  – потери напора в загрузке фильтра, равные ее полной высоте, м;

$h_m$  – потери в трубопроводах и фасонных частях, а также на образование скорости движения воды, которые суммарно составляют 1–1,5 м;

$h_{жс}$  – отметка кромки желобов над уровнем земли.

При высоте слоя воды над загрузкой фильтра 2,5 м и высоте кромки желобов над загрузкой 0,7 м отметка кромки желобов  $h_{жс} = 3,6 - 2,5 + 0,7 = 1,8$  м (где 3,6 м – отметка поверхности воды на скором фильтре).

Таким образом, дно бака для промывки фильтра должно иметь отметку  $H = 4,5 + 2 + 1,5 + 1,8 = 9,8$  м.

При составлении высотной схемы необходимо предусматривать возможность спуска воды от отдельных сооружений (резервуаров, отстойников и т. д.), а также отвод бытовых сточных вод.

Расположение сооружений на площадке должно быть достаточно удобным для дальнейшего их расширения.

Планировка площадки очистной станции сопровождается созданием архитектурного ансамбля, увязанного с другими инженерными сооружениями. Следует предусмотреть устройство асфальтированных дорог, аллей, фонтанов, посадку зеленых насаждений (деревьев, кустарников, цветов и т. д.). Вокруг территории станции, совпадающей с первым поясом зоны санитарной охраны (пояс строгого санитарного режима), устраивается надежное ограждение.

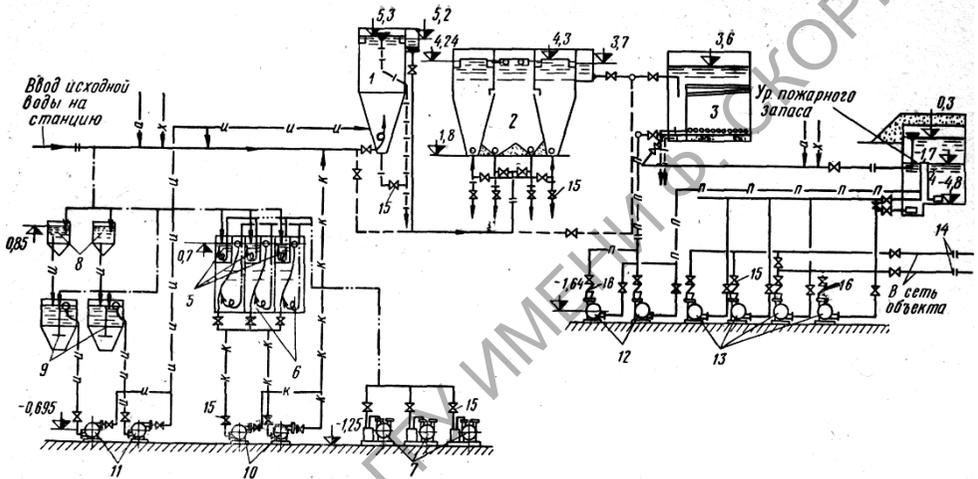


Рисунок 84 – Высотная схема станции очистки питьевой воды

1 – смеситель; 2 – осветлитель; 3 – фильтр; 4 – резервуар чистой воды; 5 – растворные отделения баков для коагулянта; 6 – расходные баки; 7 – воздуходувки; 8 – баки для гашения известки; 9 – лопастные мешалки известкового молока; 10 – насосы для дозирования раствора коагулянта; 11 – насосы для дозирования известкового молока; 12 – промывные насосы; 13 – хозяйственно-противопожарные насосы; 14 – диафрагмы расходомера; 15 – задвижки; 16 – обратные клапаны. Трубопроводы: -к- для раствора коагулянта; -и- для известкового молока; -а- для аммиачной воды; -х- для хлорной воды; -п- для промывной воды; --- для исходной воды (на собственные нужды станции); -.-.- воздухопровод; -I- производительная канализация; --- обводные.

Высотные схемы технологических сооружений водоочистных станций приведены на рисунках 85 и 86.

При определении путем расчетов перепадов уровней воды между сооружениями и потерь напора в соединительных коммуникациях следует принимать расходы на 20-30 % более номинальных, исходя из обеспечения возможности расширения станции и интенсификации работы сооружений

по мере появления новых прогрессивных технических решений (новых флокулянтов, реагентов, фильтрующих материалов, усовершенствования режимов эксплуатации сооружений и др.).

На станциях двухступенчатой очистки воды (рисунок 86) при варианте с вихревыми смесителями вода, подаваемая на станцию, поступает в смесители, перед которыми в трубопроводы исходной воды вводится хлор для предварительного хлорирования, коагулянт, а также известь (при необходимости подщелачивания). На выходе из смесителя в воду дозируется флокулянт (ПАА), а затем вода поступает в камеры хлопьеобразования, встроенные в горизонтальные отстойники. После осветления на сооружениях первой ступени вода для окончательной очистки поступает на скорые фильтры. Перед фильтрами также предусматривается возможность ввода флокулянта. Отфильтрованная вода обеззараживается хлором. При необходимости стабилизации и фторирования после фильтров в воду вводят известь и кремнефтористый натрий. Обработанная вода поступает в РЧВ, откуда НС-II подается потребителям.

При варианте с контактными камерами в поступающую на станцию воду (перед камерами) для первичного хлорирования вводится хлорная вода. В среднюю часть контактной камеры вводится активный уголь. Ввод коагулянта предусматривается в начале дырчатого смесителя (встроенного в конце контактной камеры), а флокулянта – в конце смесителя.

Помимо основного смесителя возможна установка вихревых смесителей малой емкости для подщелачивания известковым молоком. Вода, обработанная различными реагентами, из контактной камеры транспортируется в камеры хлопьеобразования и далее – аналогично варианту с вихревыми смесителями.

При варианте с микрофильтрами подаваемая на станцию вода поступает в приемные карманы ячеек микрофильтров и далее изнутри сетчатых барабанов проходит через микросетку в емкостные ячейки. Из ячеек микрофильтров через водосливные стенки вода поступает в сборные каналы, а затем по трубопроводу, в который вводится хлор для первичного хлорирования, подается в контактную емкость, расположенную под микрофильтрами. В среднюю часть этой емкости, при необходимости, вводится активный уголь. Ввод коагулянта и флокулянта предусматривается в дырчатый смеситель, встроенный в конце камеры. Смешение известкового молока для подщелачивания предусматривается в вихревом смесителе малой емкости. В остальном технологическая схема обработки воды аналогична варианту с вихревыми смесителями.

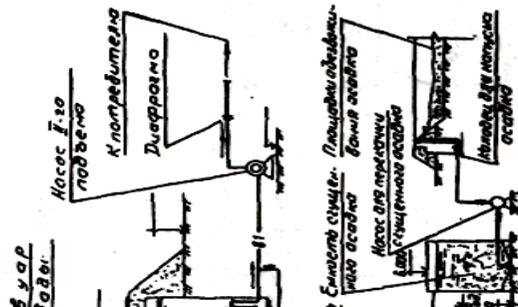


Рисунок 85 – Принципиальная схема обработки исходной воды, промывной воды и осадка станций одноступенчатой

В1 – трубопровод хозяйственно-питьевой воды; В7 – трубопровод сырой воды; В4 – трубопровод производственный – оборотной воды, подающий; В5 – трубопровод производственный – оборотной воды, обратный; R1 – трубопровод хлорной воды; R2 – трубопровод раствора коагулянта; R3 – трубопровод раствора полиакриламида; R4 – трубопровод известкового молока; R5 – трубопровод угольной пульпы; R6 – трубопровод раствора кремнефтористого натрия; K3 – трубопровод сточной (производственной) воды; K4 – трубопровод

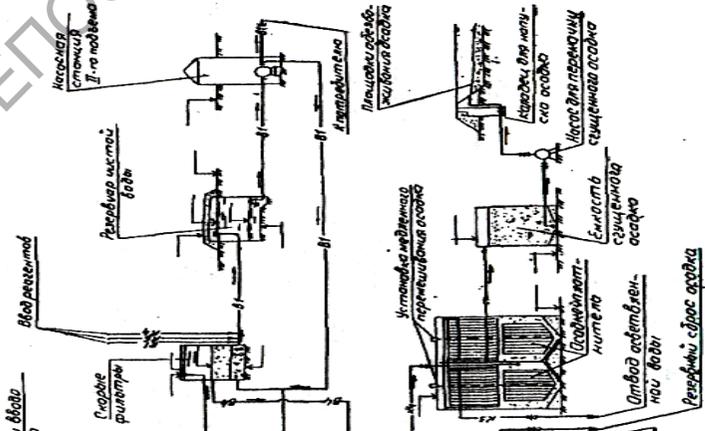


Рисунок 86 – Принципиальная схема обработки исходной воды и осадка двухступенчатой очистки (вариант с вихревым смесителем):

*B1* – трубопровод хозяйственно-ливневой воды; *B7* – трубопровод производственной – оборотной воды, подающий; *B5* – трубопровод производственный – оборотной воды, обратный; *R1* – трубопровод хлорной воды; *R2* – трубопровод раствора коагулянта; *R3* – трубопровод раствора полиакриламида; *R4* – трубопровод известкового молока; *R6* – трубопровод раствора кремнефтористого натрия; *K3* – трубопровод сточной (производственной) воды; *K4* – трубопровод шламовых вод

На станциях одноступенчатой очистки воды (рисунок 85) вода поступает для предварительной очистки на барабанные сетки (БС) или микрофильтры (МФ), пройдя которые, вода через водосливы поступает в сборный канал и далее по трубопроводу – в контактный резервуар. В трубопровод подается хлор для первичного хлорирования. Из контактного резервуара вода поступает во встроенный смеситель с дырчатыми перегородками. В начале смесителя туда вводится коагулянт, в конце смесителя - флокулянт. После смесителя вода подается на КО, и далее очищенная вода поступает в РЧВ. Перед резервуаром в трубопроводы фильтрованной воды вводят хлор для обеззараживания. Далее насосами вода подается потребителям. При низком качестве исходной воды, требующей более сложной обработки дополнительными реагентами (активным углем, известью и кремнефористым натрием), возможна следующая последовательность введения растворов реагентов: активный уголь – в среднюю часть контактной емкости, известь для подщелачивания – вместе с коагулянтом перед смесителем, известь для стабилизационной обработки воды и кремнефористый натрий - в трубопровод фильтрованной воды после КО.

Отметки уровней воды во входной камере или в смесителе являются наивысшими, и по ним определяется требуемая величина подъема воды насосами станции первого подъема.

Сооружения реагентного хозяйства для приготовления растворов реагентов иногда требуют подачи воды на более высокие отметки, чем отметка смесителя, но необходимое для этого количество воды весьма мало по сравнению с расходом воды, очищаемой станцией. Поэтому воду для нужд реагентного хозяйства целесообразно подкачивать на необходимую дополнительную высоту.

## **9 ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ПЛАНЫ СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ**

### *Выбор площадки.*

Выбор площадки для строительства водопроводных очистных сооружений, а также размещение на ней отдельных сооружений диктуются спецификой технологии, охранными мероприятиями, успешной эксплуатацией построенных сооружений, экономичностью и т.д. Размеры выбранной площадки должны предусматривать не только удобное размещение всех основных и вспомогательных сооружений станции, коммуникаций, но и возможность их расширения при дальнейшем развитии станции. Кроме того, при выборе площадки следует предусматривать возможность организации зоны санитарной охраны, решение наиболее экономичной подачи воды от источника водоснабжения к станции и от станции к местам водопотребления, а также наиболее рациональное решение энергоснабжения станции, подъездных путей, линий радиотелефонной связи и т.д. С экономической

точки зрения очистные сооружения следует располагать в непосредственной близости от водозаборных сооружений и насосных станций первого подъема. При расположении площадок вблизи водоема отметку земли надлежит принимать не менее чем на 0,5 м выше гребня волны при максимальном уровне воды в водоеме. Рельеф площадки должен обеспечивать самотечное движение воды по цепи очистных сооружений при условии их наименьшего заглубления и наименьшего объема земляных работ, а также легкий отвод и сброс ливневых и талых вод, а при необходимости и промывных вод. Грунты должны соответствовать всем строительным требованиям. Для заглубленных сооружений, из которых возможно просачивание воды, нежелательны лессовые грунты, а также и высокое стояние грунтовых вод. При наличии грунтовых вод в проектах следует приводить данные о колебании их уровней в естественном состоянии и составлять прогноз изменения уровней при строительстве и эксплуатации сооружений, на основании которого должны устанавливаться расчетные уровни грунтовых вод для отдельных зданий и сооружений.

*Генеральный план станций водоподготовки.*

В состав водоочистных комплексов входят:

1. основные технологические (очистные) сооружения: входные устройства; отстойники (осветлители) и фильтры (для двухступенчатой очистки); контактные осветлители (для одноступенчатой очистки); реагентное хозяйство; хлораторная со складом хлора.

2. Вспомогательные здания и сооружения: резервуары чистой воды; служебный корпус (для станций) производительностью 50000 м<sup>3</sup>/сут и более); насосная станция второго подъема; песковая площадка.

Кроме того, на площадке станций могут размещаться: котельная; башня для промывки фильтров или контактных осветлителей; отдельно стоящая проходная; сооружения для повторного использования воды после промывки фильтров; сооружения обработки осадка отстойников (осветлителей); сооружения по обработке промывной воды контактных осветлителей.

Состав и площади помещений надо принимать в зависимости от назначения и производительности станции, а также источника водоснабжения по таблице 69.

Для составления генерального плана по принятой схеме очистных сооружений водопровода нужно иметь план участка с горизонталями в масштабе 1:500. На генеральный план наносят: основные технологические сооружения; вспомогательные сооружения (склады реагентов, фильтрующих и других материалов, хранилищ растворов реагентов, сооружений для регенерации и оборота промывных вод, подсушки осадка, пескового хозяйства, электрических подстанций, отопительных котельных и т.п.); основные пути и коммуникации (дороги, линии труб, каналы, линии электропередачи и др.).

Таблица 69 – Вспомогательные помещения

Помещения	Площади, м <sup>2</sup> , лабораторий и вспомогательных помещений при производительности станций, м <sup>3</sup> /сут				
	Менее 3000	3000–10000	10000–50000	50000–100000	100000–300000
1. Химическая лаборатория	30	30	40	40	2 комнаты 40 и 20
2. Весовая	-	-	6	6	8
3. Бактериологическая лаборатория	20	20	20	30	2 комнаты 20 и 20
	10	10	10	15	15
4. Средовочная и моечная	10	10	10	15	15
5. Комнаты для гидробиологических исследований (при водоисточниках, богатых микрофлорой)	-	-	8	12	15
6. Помещения для хранения посуды и реактивов	10	10	10	15	20
7. Кабинет заведующей лабораторий	-	-	8	10	12
8. Местный пункт управления	Назначается по проекту диспетчеризации и автоматизации				
9. Комната дежурного персонала	8	10	15	20	25
10. Контрольная лаборатория	-	10	10	15	15
11. Кабинет начальника станции	6	6	15	15	15
12. Мастерская для текущего ремонта мелкого оборудования и приборов	10	10	15	20	25
13. Гардеробная, душ и санитарно-технический узел	По СНиП 2.09.04-87*				

*Примечания:* 1. Допускается изменение площадей лабораторий и вспомогательных помещений до 15% указанных в таблице в зависимости от строительных решений зданий.

2. При централизованном контроле качества воды состав лабораторий и вспомогательных помещений может быть уменьшен по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы.

3. При подаче потребителям подземной воды без подготовки и обеззараживанием ее хлором надлежит предусматривать только помещение площадью 6 м<sup>2</sup> для проведения анализа на содержание остаточного хлора

4. Для станций производительностью более 300000 м<sup>3</sup>/сут состав

помещений следует устанавливать в каждом отдельном случае в зависимости от местных условий.

Все здания и сооружения обеспечиваются подъездными и пешеходными дорожками. Ширина проезжих дорог принимается 5,5 м, закругления при сопряжении дорог - не менее 8 м. Проходы на сооружениях должны быть шириной не менее 0,7-1,0 м. К колодцам и камерам, в которых установлены задвижки диаметром 600 мм и более, должен быть обеспечен подъезд автомашин.

Основные очистные сооружения в зависимости от полной производительности очистной станции могут располагаться отдельными блоками или объединяться. В основном здании очистной станции должны быть предусмотрены помещения для химических, бактериологических и гидробиологических лабораторий по контролю качества воды с подсобными помещениями, помещениями для работы персонала станции (диспетчерские, кладовые, гардеробы, душевые, венткамеры, мастерские и др.).

Отстойники и осветлители со взвешенным осадком группируются в один, два и более блоков (на крупных станциях). Камеры хлопьеобразования, в зависимости от их типа, могут быть конструктивно объединены с отстойниками или устроены в отдельных блоках - со смесителями и сооружениями реагентного хозяйства.

Склады реагентов обычно устраивают непосредственно примыкающими к зданию реагентного хозяйства. Склады жидкого хлора устраивают в отдельных помещениях.

При разработке очистных сооружений водопровода следует предусматривать размещение в одном здании помещений, связанных общим технологическим процессом: реагентного хозяйства, осветлителей, фильтров, насосных станций, электроустройств, подсобных и бытовых помещений и др.

Расстояние между сооружениями решается в зависимости от их назначения, глубины заложения, характера грунтов и способа производства работ.

Структура возможных компоновочных решений станции очистки воды по двухступенчатой схеме приведена на рисунке 87, а по одноступенчатой схеме на рисунке 88.

Расходные склады для хранения сильнодействующих ядовитых веществ (хлор, аммиак и др.) на территории водопроводных сооружений надлежит размещать от производственных зданий и сооружений, не относящихся к складскому хозяйству, с постоянным пребыванием людей, на расстоянии не менее 30 м; 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.

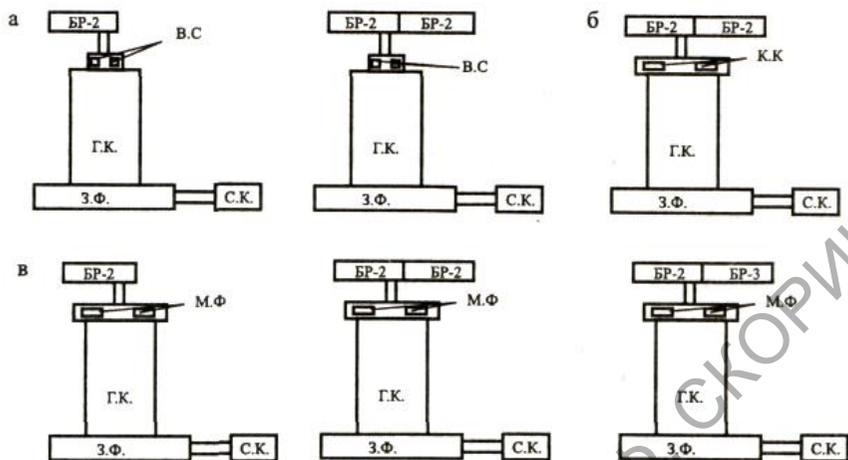


Рисунок 87 – Структура компоновочных решений станций очистки воды по двухступенчатой схеме (станции производительностью 50 - 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут):

а – вариант с вихревыми смесителями; б – вариант с контактными камерами; в – вариант с микрофильтрами; БР-2 – блок реагентного хозяйства на 2 основных реагента; БР-2' – блок реагентного хозяйства на 2 дополнительных реагента; БР-3 – блок реагентного хозяйства на 3 дополнительных реагента; Г. К. – главный корпус; В. С. – блок входных устройств с вихревыми смесителями; К. К. – блок входных устройств с контактными камерами; М. Ф. – блок входных устройств с микрофильтрами; З. Ф. – зал фильтров; С. К. – служебный корпус

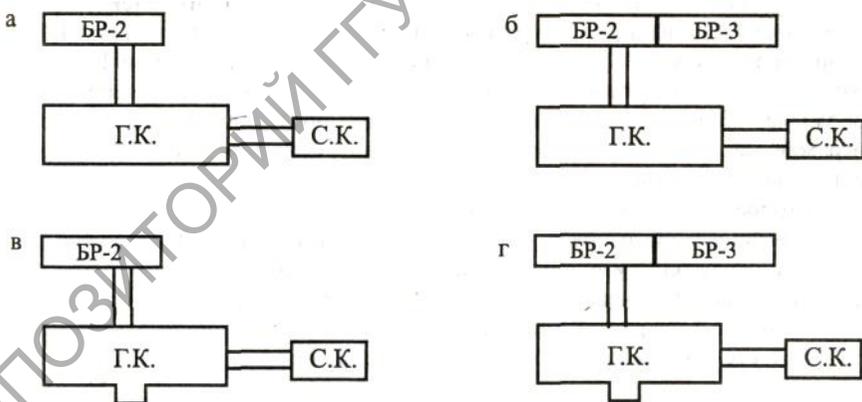


Рисунок 88 – Структура компоновочных решений станций очистки воды по одноступенчатой схеме (станции производительностью 50 - 200 тыс. м<sup>3</sup>/сут):

а, б – варианты с барабанными сетками; в, г – варианты с микрофильтрами; БР- 2 – блок реагентного хозяйства на 2 основных реагента; БР- 3 – блок реагентного хозяйства на 3 дополнительных реагента; Г. К. – главный корпус (КО) с входными устройствами; С. К. – служебный корпус

Водопроводные сооружения должны ограждаться. Для площадок станций водоподготовки, насосных станций, резервуаров и водонапорных башен с зонами санитарной охраны первого пояса следует, как правило, сооружать глухое ограждение высотой 2,5 м. Допускается предусматривать ограждение на высоту 2 м – глухое и на 0,5 м - из колючей проволоки или металлической сетки, при этом во всех случаях должна предусматриваться колючая проволока в 4-5 нитей на кронштейнах с внутренней стороны ограждения. Ограждение должно быть прямолинейным, без излишних изгибов и выступов. Примыкание к ограждению строений, кроме проходных и административно-бытовых зданий, не допускается.

Ограждение насосных станций, работающих без разрыва струи (при отсутствии резервуаров), и водонапорных башен с глухим стволом, расположенных на территории предприятий или населенных пунктов, а также шламонакопителей станций водоподготовки можно не предусматривать.

На площадках водопроводных сооружений в пределах зоны санитарной охраны первого пояса должны быть предусмотрены технические средства охраны: запретная зона шириной 5-10 м вдоль внутренней стороны ограждения площадки, обнесенная колючей проволокой на высоту 1,2 м; тропа наряда внутри запретной зоны шириной 1 м на расстоянии 1 м от ограждения; столбы-указатели, устанавливаемые не более чем через 50 м, обозначающие границы запретной зоны; охранное освещение по периметру ограждения; постовая телефонная связь и двухсторонняя электрозвонковая сигнализация постов с диспетчерским пунктом или караульным помещением, которое предусматривается на особо ответственных водопроводах.

Граница первого пояса зоны водопроводных сооружений должна совпадать с ограждением площадки, при этом расстояние от стен резервуаров фильтрованной (питьевой) воды, фильтров (кроме напорных), контактных осветлителей с открытой поверхностью воды следует принимать не менее 30 м, от стен остальных сооружений и стволов водонапорных башен - не менее 15 м.

Территория водопроводных сооружений подлежит озеленению. В проекте озеленения следует максимально использовать древесно-кустарниковые насаждения.

К зданиям и сооружениям водопровода, расположенным вне населенных пунктов и предприятий, следует предусматривать подъезды и проезды с облегченным усовершенствованным покрытием.

При решении генерального плана необходимо обращать внимание на взаимное расположение отдельных сооружений. В зависимости от размера площадки, отводимой под водопроводные очистные сооружения,

их типа и местных условий могут быть различные варианты компоновок.

Специализированными проектными организациями, работающими в области водоснабжения, разработаны и периодически обновляются типовые проекты станций очистки. В проектах предусмотрена рациональная блокировка в одном здании помещений, которые связаны общим технологическим процессом (реагентное хозяйство, осветлители, фильтры, насосные станции, подсобные помещения, бытовые помещения и др.). В типовых проектах станций водоподготовки для монтажа сооружений широко применяется сборный железобетон, при разработке проектов зданий станций используется стандартная сетка пролетов, принятая в промышленном строительстве.

Объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений должны обеспечивать возможность возведения их индустриальными методами.

При разработке генерального плана следует помнить, что взаимное расположение сооружений должно обеспечивать: возможность строительства по очередям, возможность дальнейшего расширения, минимальную протяженность коммуникаций и доступность для ремонта и обслуживания.

На рисунке 89 приводится генеральный план очистной станции производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

На генеральном плане нанесены основные, технологические и вспомогательные сооружения с линиями трубопроводов. Станция состоит из двух ступеней очистки. В качестве очистных сооружений первой ступени приняты горизонтальные отстойники; вторая ступень очистки представлена скорыми фильтрами. В состав очистного блока или главного корпуса станции предусмотрены также и входные устройства. В зависимости от качества воды источника входные устройства могут быть в трех вариантах: при относительно малозагрязненных источниках следует применять станции очистки воды с вихревыми смесителями; при наличии привкусов и запахов, превышающих норму (более двух баллов) и необходимости более сложной обработки воды применяется контактная камера; при повышенном содержании планктона (при среднемесячном содержании свыше 1000 клеток фитопланктона в 1 мл воды и продолжительности «цветения» не менее одного месяца) применяется станция с микрофильтрами. Основным и наиболее распространенным решением является вариант с вихревыми смесителями. Приведенный генплан носит примерный характер как в отношении планировки, так и компоновки сооружений.

На рисунке 90 приведен генеральный план станции одноступенчатой очистки воды производительностью также 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. В качестве основного очистного сооружения используется контактный осветлитель (тип КО-I с гравийно-песчаной загрузкой). Для защиты КО от крупных примесей и планктона предусматриваются входные камеры с сетчатыми

барабанными фильтрами или микрофильтрами. Выбор типа защитных устройств обуславливается содержанием планктона в обрабатываемой воде. При содержании планктона свыше 1000-1500 клеток в 1 мл воды перед КО-1 с гравийно-песчаной загрузкой должны устанавливаться микрофильтры.

На рисунках 91–95 приведены примеры компоновки станций водоподготовки различной производительности и с различными сооружениями.

## 10 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

При разработке проекта водопроводных очистных сооружений необходимо учитывать следующие основные требования техники безопасности.

Подземные емкостные сооружения, имеющие обвалование грунтом высотой менее 0,5 м над спланированной поверхностью территории, должны иметь ограждение со стороны возможного заезда транспорта или механизмов. Открытые емкостные сооружения, если их стены возвышаются над отметкой планировки менее чем на 0,75 м, должны иметь по внешнему периметру дополнительное ограждение, при этом общая высота ограждения от поверхности земли должна быть не менее 0,75 м.

При размещении очистных сооружений в здании необходимо предусматривать рабочие проходы шириной не менее 1 м между отдельными сооружениями, а также между сооружениями и стенами здания, если по другим специальным требованиям не предусматривается большая ширина проходов. Ширина рабочих проходов, расположенных на высоте 0,8 м на полом, или же помостов (площадок) для обслуживания емкостей с водой должна составлять не менее 0,6 м. Проходы и площадки следует огради на высоту не менее 1 м со сплошной зашивкой внизу на 0,1 м.

Заглубленные помещения должны сообщаться с наземными частями выходами из зданий по открытым лестницам шириной не менее 0,9 м и углом наклона не более 45°. Для помещений длиной 12 м и менее допускается устройство лестниц с углом наклона не более 60°. Для переходов через трубы, а также для подъема к отдельным площадкам у задвижек и т.п. допускается применять лестницы шириной 0,5 м с углом наклона 60° и более, также стремянки.

Для помещений длиной (диаметром) более 18м, полы которых заглублены ниже уровня пола первого этажа более чем на 1,8 м, должно предусматриваться не менее двух эвакуационных выходов. Для безопасных и удобных условий ремонта и обслуживания оборудования и арматуры необходимо обеспечить доступность подхода к ним. Помещения должны иметь отопление, обеспечивающее надлежащую температуру, а также

естественное и искусственное освещение по существующим нормам [1].

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

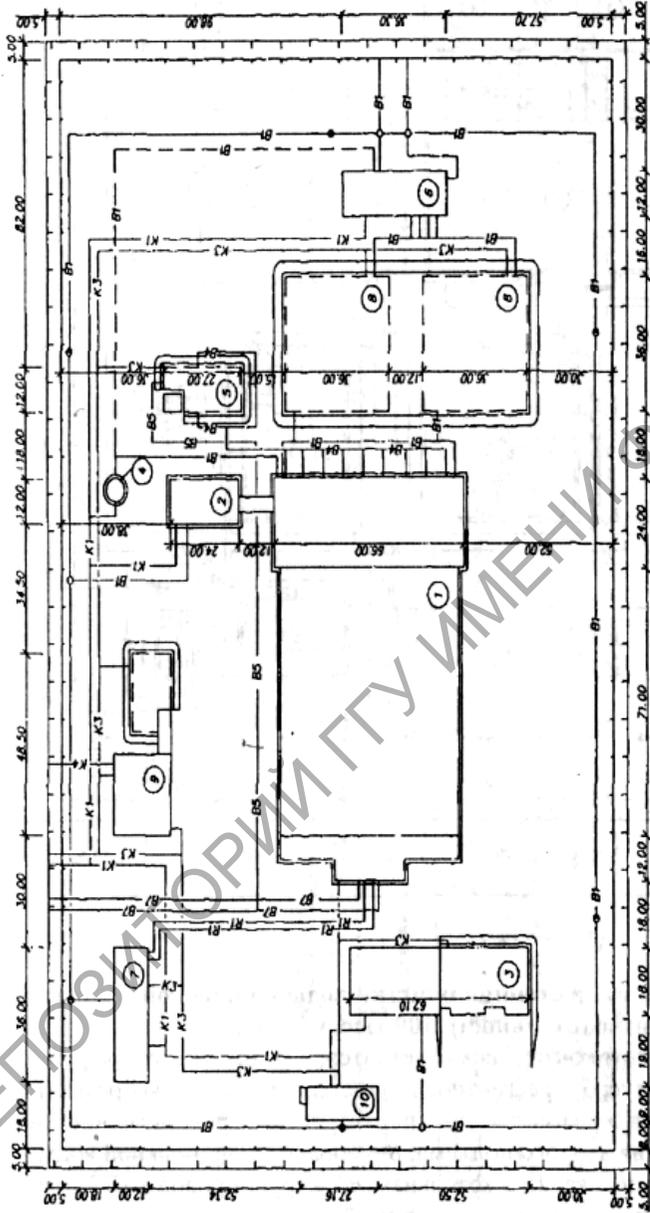


Рисунок 89 – Генеральный план двухступенчатой очистки воды на плоской площадке (производительность 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут):

- 1 – блок входных устройств и контактных осветлителей (вариант с вихревыми смесителями); 2 – служебный корпус; 3 – реакнтное хозяйство (на 2 реагента); 4 – башня для хранения промыльной воды; 5 – сооружение для повторного использования воды после промывки; 6 – насосная станция второго подъема; 7 – хлораторная; 8 – резервуар чистой воды; 9 – сооружения обработки осадка отстойников; 10 – котельная; B1 – трубопровод хозяйственно-питьевой воды; B4 – трубопровод производственный - оборотной воды; B5 – трубопровод производственный - оборотной воды, обратный; B7 – трубопровод сырой воды; K1 – трубопровод хозяйственно-фекальной канализации; K3 – трубопровод сточной (производственной) воды; K4 – трубопровод шамовых вод; ○ – колодец с пожарным

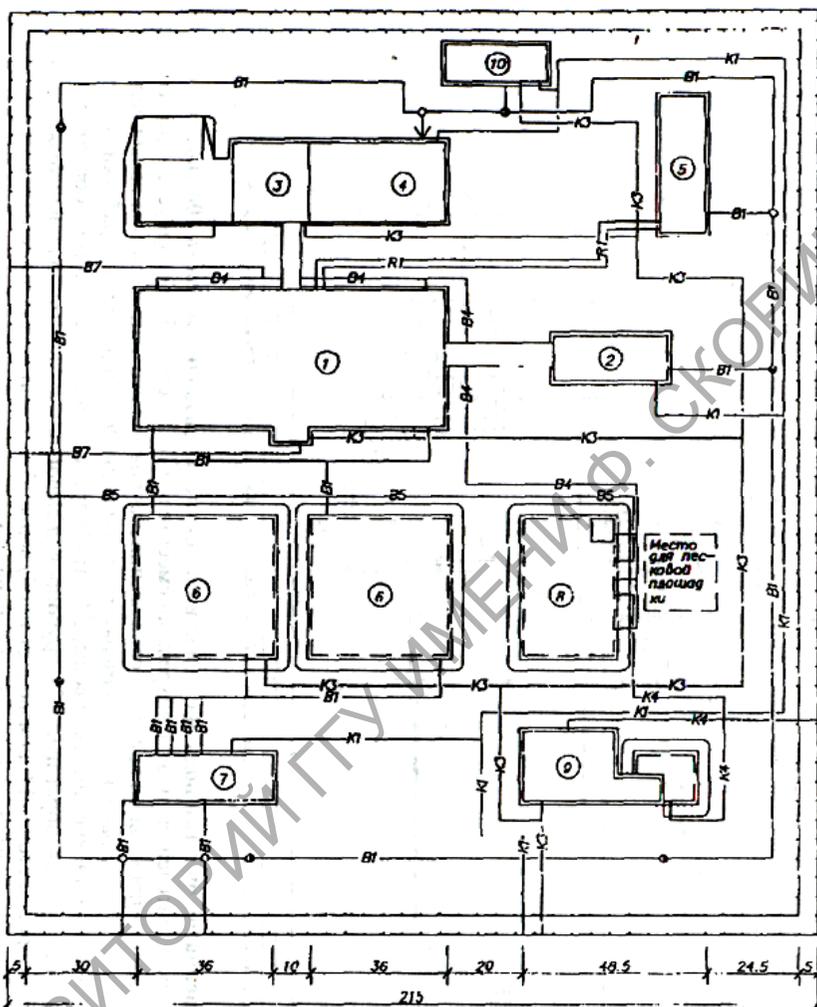


Рисунок 90 – Генеральный план станции очистки воды на плоской площадке (производительность 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут):

1 – блок входных устройств и контактных осветлителей (вариант с микрофильтрами); 2 – служебный корпус; 3 – реагентное хозяйство на 2 основных реагента; 4 – реагентное хозяйство на 5 реагентов; 5 – хлораторная; 6 – резервуар чистой воды; 7 – насосная станция второго подъема; 8 – обработка промывной воды; 9 – сооружение обработки осадка; 10 – котельная; B1 – трубопровод хозяйственно-питьевой воды; B4 – трубопровод производственный – оборотной воды, подающий; B5 – трубопровод производственный – оборотной воды, обратный; B7 – трубопровод сырой воды; K1 – трубопровод хозяйственно-фекальной канализации; K3 – трубопровод сточной (производственной) воды; K4 – трубопровод шламовых вод; ○ – колодец с пожарным гидрантом

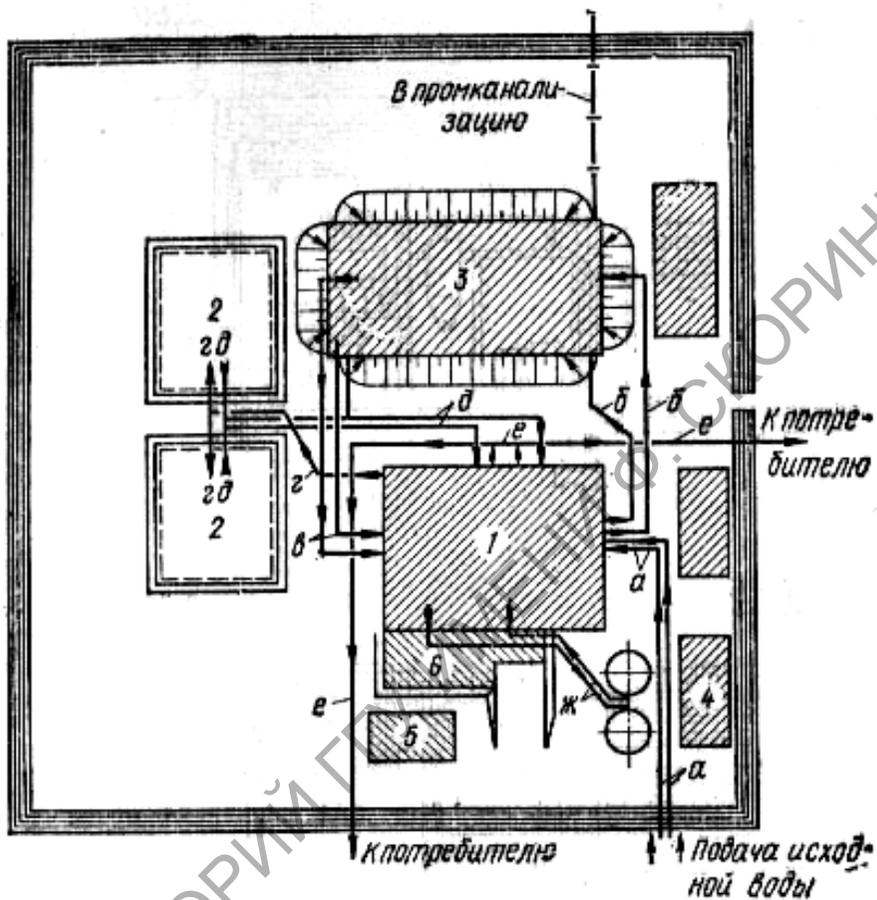


Рисунок 91 – Генплан станции водоподготовки с отстойниками и фильтрами  
 а – исходная вода; б – на отстойники; в – на фильтры; г – в РЧВ; д – на НС II; е – водоводы;  
 1 – блок фильтровальной станции и реагентного хозяйства; 2 – РЧВ; 3 – горизонтальные отстойники; 4 – блок хлораторной и склада хлора; 5 – площадка для песка; 6 – растворные баки и резервуары-хранилища коагулянта

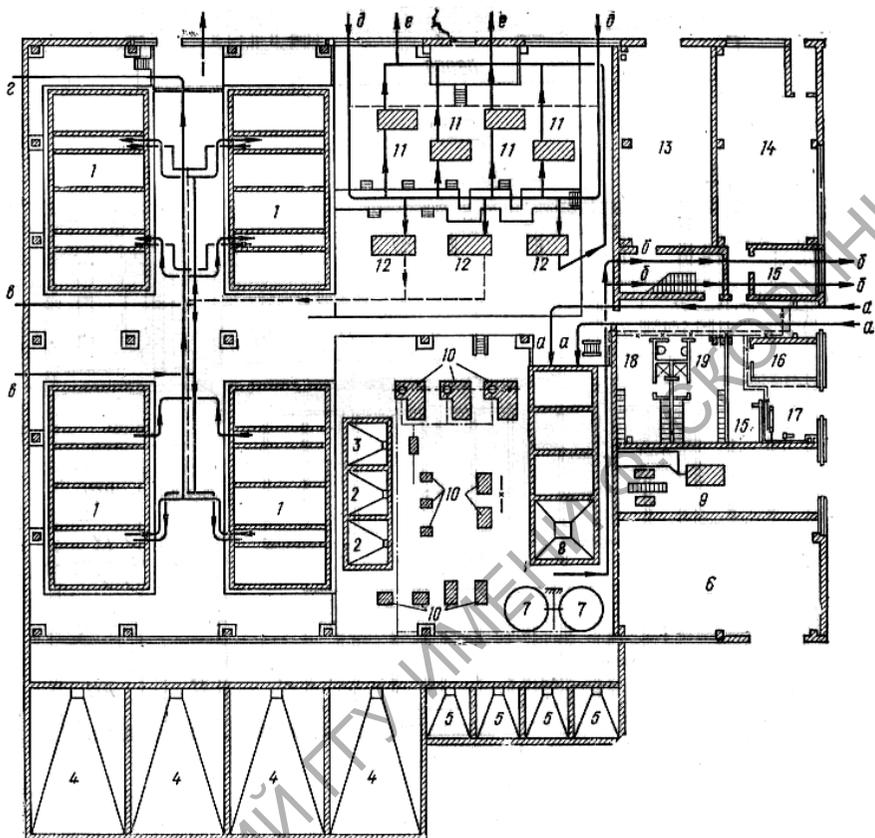


Рисунок 92 – План блока фильтровальной станции

а – исходная вода; б – на отстойники; в – на фильтры; г – в РЧВ; д – на НС II; е – водоводы;  
 1 – фильтры; 2 – расходные баки коагулянта; 3 – бак полиакриламида; 4 – резервуары-хранилища  
 раствора; 5 – растворные баки коагулянта; 6 – склад извести и место приготовления известкового  
 молока; 7 – мешалки известкового молока; 8 – смеситель; 9 – мешалка угольной пыли; 10 –  
 насосно-компрессорное оборудование реагентного хозяйства; 11 – насосы станции II подъема; 12  
 – промывные насосы; 13 – щитовая; 14 – котельная; 15 – вентиляционные камеры; 16 –  
 мастерская; 17 – хлораторная; 18 и 19 – гардероб

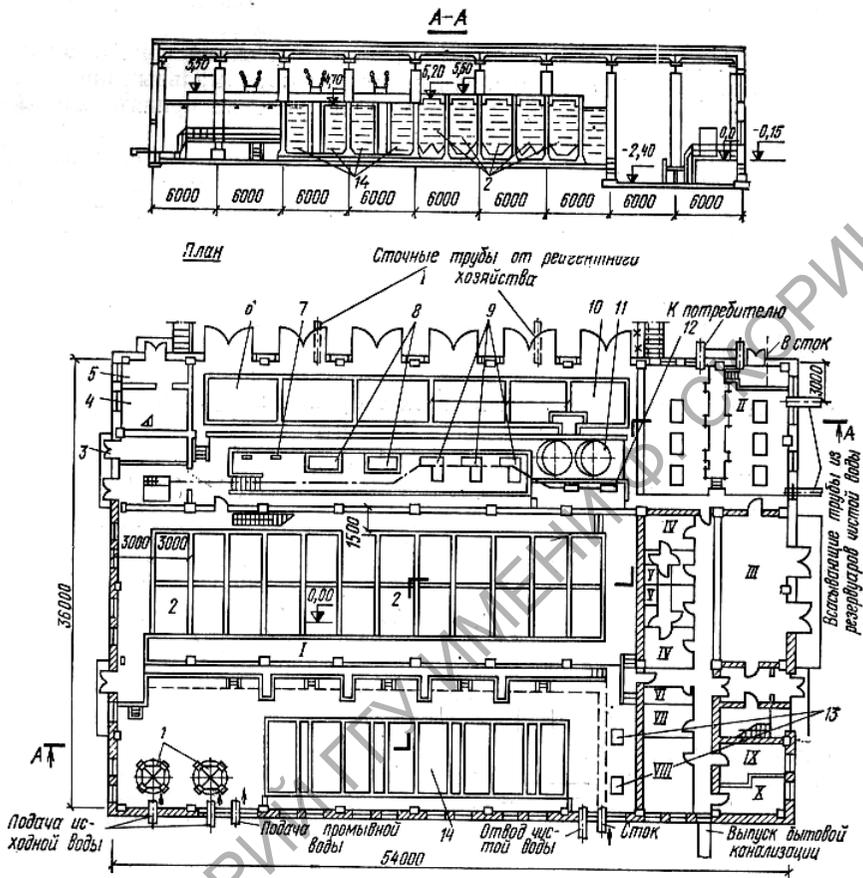


Рисунок 93 – План 1-го этажа станции водоочистки производительностью 12500 м<sup>3</sup>/сут

I – рабочий зал; II – насосная станция II подъема; III – трансформаторная подстанция и щитовая; IV – гардероб; V – душевые; VI – кладовая; VII – средоварочная и мойка; VIII – химическая лаборатория; IX – бактериологическая лаборатория; X – контрольная лаборатория; 1 – смеситель; 2 – осветлители; 3 – склад кремнефтористого натрия; 4 – углевальня; 5 – склад активированного угля; 6 – баки для хранения коагулянта; 7 – насосы-дозаторы коагулянта; 8 – расходные баки для коагулянта; 9 – воздуходувки; 10 – баки для известкового теста; 11 – мешалки известкового молока; 12 – циркуляционные насосы известкового молока; 13 – насосы для подкачки в башню промывной воды; 14 – фильтры

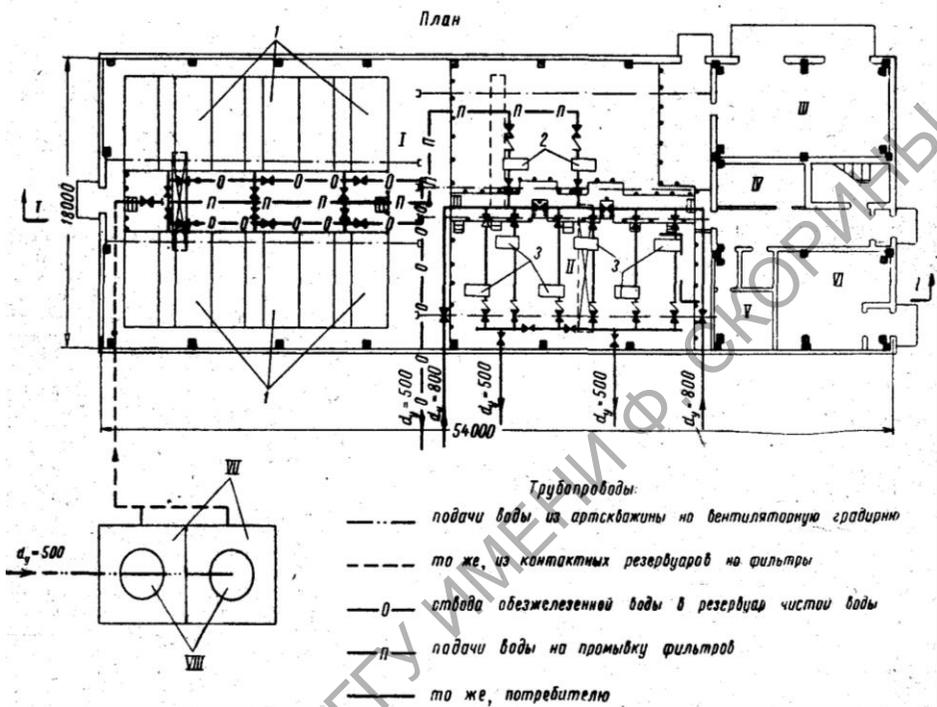


Рисунок 94 – Установка для обезжелезивания подземных вод производительностью 20 тыс.м<sup>3</sup>/сутки

I – фильтровальный зал; II – насосная станция II подъема; III – трансформаторная подстанция; IV – мастерская; V – хлораторная; VI – котельная; VII – контактные резервуары; VIII – вентиляционные градирни; 1 – открытые песчаные фильтры; 2 – промывные насосы; 3 – хозяйственно-пожарные насосы

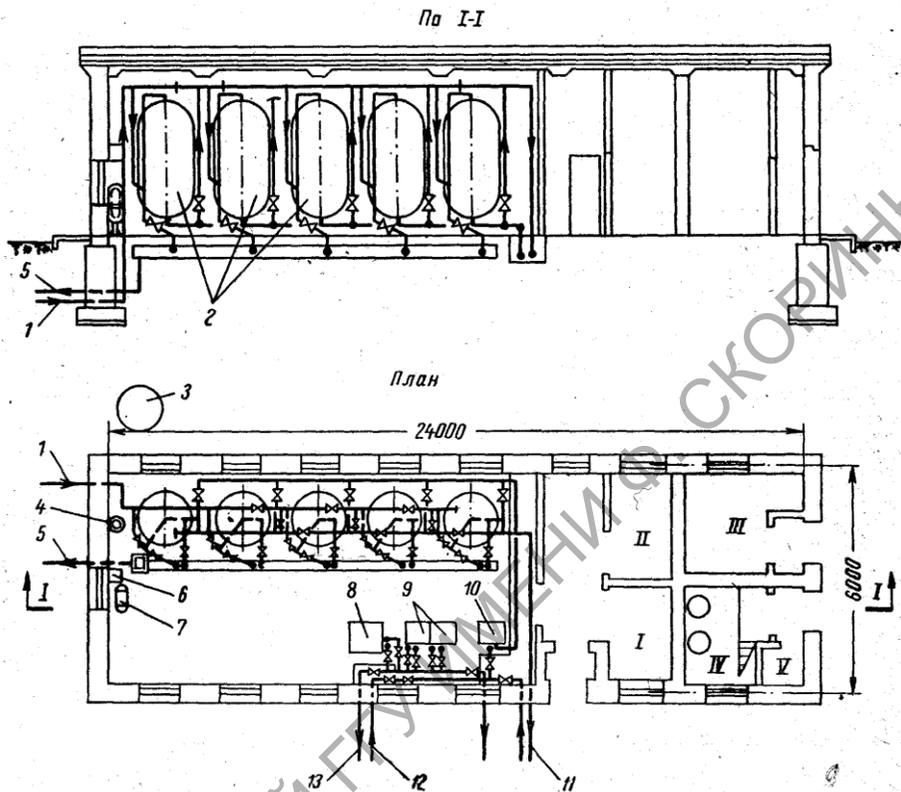


Рисунок 95 – Установка производительностью 800 м<sup>3</sup>/сутки для обезжелезивания воды с содержанием железа до 15 мг/л при применении омарганцованного песка

I – лаборатория; II – мастерская; III – котельная; IV – хлораторная; V – вентиляционная камера; 1 – подача воды на обезжелезивание; 2 – механические осветлительные фильтры; 3 – ресивер; 4 – шайбовый дозатор; 5 – выпуск в производственную канализацию; 6 – бакоч раствора KMnO<sub>4</sub>; 7 – компрессор; 8 – пожарный насос; 9 – хозяйственно-питьевые насосы; 10 – промывной насос; 11 – подача обезжелезенной воды в резервуар чистой воды; 12 – всасывающий трубопровод из резервуара чистой воды; 13 – подача воды потребителям

Кроме того, в помещениях очистных сооружений следует предусмотреть аварийное освещение от аккумуляторной батареи напряжением не свыше 36 В или, в крайнем случае, от обычных керосиновых настенных ламп, а также запас свечей, чтобы обеспечить возможность осмотра недостаточно освещенных мест.

Производственные помещения очистных сооружений оборудуются искусственной вентиляцией, обеспечивающей 3-6-кратный обмен воздуха в 1 час в зависимости от назначения помещения. При проектировании

электрической силовой и осветительной проводки должны быть соблюдены правила устройства электроустановок в сырых помещениях.

Отдельно стоящая хлордозаторная должна быть расположена на первом этаже и оборудована двумя выходами: один через тамбур и второй - непосредственно наружу, при этом двери должны открываться наружу. Расходный склад хлора допускается располагать непосредственно к хлордозаторной, но их следует разделять огнестойкой стеной без проемов. Расходный склад хлора проектируется с учетом требований Санитарных правил для складов сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ). Выброс удаляемого воздуха от постоянно действующей и аварийной вентиляции расходного склада хлора следует осуществлять через трубу высотой 15 м от уровня земли. При необходимости надлежит предусматривать очистку выбросного вентиляционного воздуха. Выброс вентиляционного воздуха из помещения хлордозаторной надлежит осуществлять через трубу высотой на 2 м выше конька кровли самого высокого здания, находящегося в радиусе 15 м.

Для обеспечения быстрого удаления из помещения просочившегося газа хлордозаторное отделение оборудуется аварийной вентиляционной установкой, рассчитанной на 12-кратный обмен воздуха в 1 ч. Вытяжку воздуха в хлордозаторном помещении устраивают вблизи пола. Перед входом в помещение предусматривается настенный шкаф для хранения противогазов и рублик или кнопочный пускатель для включения вентилятора. На случай разрыва баллонов с хлором во дворе на расстоянии не более 10 м от входа в хлордозаторное помещение должен быть запроектирован утепленный аварийный колодец глубиной 2-3 м с водонепроницаемыми стенками и дном, закрываемый сверху плотными крышками для погружения в него неисправных баллонов с хлором. В хлордозаторной, заблокированной с очистными сооружениями, допускается хранение жидкого хлора в количестве не более 50 кг, при этом должны быть предусмотрены устройства для аварийных баллонов. В хлордозаторном помещении, кроме основного электроосвещения, должно быть аварийное освещение от аккумуляторной батареи напряжением не выше 36В.

При наличии в производственных помещениях постоянного обслуживающего персонала температура воздуха в них должна быть не ниже 16<sup>0</sup>С, а в помещениях, имеющих большие открытые водные поверхности, она должна быть на 2<sup>0</sup>С выше температуры воды.

В складах жидкого хлора отопление, как правило, не предусматривается. При установке в расходном складе хлора, кроме тары с жидким хлором, технологического оборудования, связанного с эксплуатацией хлорного хозяйства, следует предусматривать отопление для обеспечения расчетной температуры воздуха +5<sup>0</sup>С. 14.2.

#### *Противопожарные мероприятия.*

По степени пожарной опасности здания и сооружения водопровода

относят к категории Д. Класс и степень огнестойкости зданий и сооружений в зависимости от категории надежности подачи воды следует принимать по [1]. Станции очистки воды относятся ко II классу и второй степени огнестойкости. Основными причинами пожаров на водопроводных сооружениях являются: неосторожное обращение с огнем, неисправные электрооборудование и сеть и нарушение правил их эксплуатации, самовоспламенение и самовозгорание обтирочных материалов, неисправность или неправильная эксплуатация отопительного хозяйства и т.д.

При проектировании насосных станций, очистных сооружений, мастерских и других отапливаемых производственных помещений следует предусматривать установку внутренних пожарных кранов. В помещениях насосных станций размером 6х9 м и более проектируется внутренний противопожарный водопровод с расходом воды 2,5 л/с, а в насосных станциях с низковольтным электрооборудованием следует предусматривать дополнительно два ручных пенных огнетушителя, в насосных станциях с высоковольтным оборудованием - два углекислотных огнетушителя, бочку с водой емкостью 250 л, два войлока из асбестового полотна или кошмы размером 2х2 м.

В складах, гаражах и других неотапливаемых помещениях должны быть предусмотрены места для установки огнетушителей, ящиков с песком, в летнее время - бочки с водой, а на стене должен иметься набор противопожарного инвентаря. В целях пожаротушения должны быть предусмотрены проходы и подступы. Для промасленных тряпок и других обтирочных материалов следует установить металлические ящики с крышками.

Куриль следует только в специально отведенных для этой цели местах.

Наружное пожаротушение на водопроводных очистных сооружениях следует предусматривать через пожарные гидранты, устанавливаемые на сети хозяйственно-питьевого водопровода станции.

На малых водопроводах отдельные сооружения иногда строят из сгораемых материалов. Поэтому такие сооружения всегда находятся под угрозой уничтожения от воздействия грозových разрядов. Молния может вызвать пожар или даже взрыв как от непосредственного теплового воздействия при прямом ее попадании, так и от искрения и теплового воздействия сверхтоков, заносимых в момент удара молнии во внутренние электросети, телефонную сеть, металлическую крышу на здании, трубопроводы и т.п. Предохранять здание от прямых ударов молнии следует молниеотводом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СНиП 2.04.02 – 84.** Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 134 с.
2. **Кожин, В. Ф.** Очистка питьевой и технической воды / В. Ф. Кожин. – М.: Стройиздат, 1971. – 303 с.
2. **Абрамов, Н. Н.** Водоснабжение: учебник для вузов / Н. Н. Абрамов – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
3. **Николадзе, Г. Н.** Подготовка воды для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения: учеб. пособие по спец. «Водоснабжение и канализация» для вузов / Г. Н. Николадзе, Д. М. Миц, А. А. Кастальский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 368 с.
4. **Горбачев, Е. А.** Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников / Е. А. Горбачев. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 240 с.
5. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества/ Санитарные правила и нормы: СанПиН 10-124 РБ 99. – Минздрав РБ.– Минск, 2000 //Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению. – 2000. С.3-108.
6. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3-х т. – Т.2. Очистка и кондиционирование природных вод / под ред. Журбы М. Г. – Вологда-Москва: ВоГТУ, 2001. – 324 с.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
(обязательное)

**Исходные данные для курсового проекта**

Таблица А.1 – Исходные данные для вариантов 1–12

№ л/п	Исходные данные	Вариант												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Среднесуточное потребление воды Q населенным пунктом, тыс. м <sup>3</sup> /сут	10	33	52	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
2	Источник водоснабжения	Подземные воды												
3	Отметка площадки очистной станции над уровнем моря, м	11 9	12 0	12 5	13 0	11 5	11 0	12 3	12 7	13 2	12 2	11 7	12 9	
4	Территориальная полоса, где находится станция	центральная												
5	Состав грунтов площадки:													
	От 0 до 0,6 м	суглинок	суглинок	супесь	песок	суглинок	суглинок	супесь	сесок	суглинок	суглинок	супесь	песок	суглинок
	От 0,6 до 3 м	песок	песок	глина	глина	песок	песок	глина	глина	песок	песок	глина	глина	
	От 3 м и ниже	глина	глина	песок	песок	глина	глина	песок	песок	глина	глина	песок	песок	
6	Глубина уровня грунтовых вод, м	3	4, 5	2, 7	3, 5	4, 2	3, 1	3, 6	2, 6	4, 2	4, 7	3, 4	2, 5	
7	Цветность источника воды, град	15	20	13	11	15	20	45	48	50	30	20	17	
8	Мутность источника воды, мг/л:													
	наибольшая	2	3	4, 1	5	1	0, 5	0, 6	0, 7	0, 8	0, 9	3, 5	4, 5	
	наименьшая	1	1, 5	3, 2	3, 7	0	0	0	0	0	0	2	2, 5	
9	Жесткость воды, мг/эквл													
	Общая	2, 8	2, 8	2, 8	2, 8	3, 6	4, 3	5	6	5, 5	5	2, 8	2, 8	
	Карбонатная	2	2, 3	2, 1	2, 8	3, 0	3, 2	4, 1	4, 8	2, 5	2, 7	2, 2	2, 4	

10	Щелочность, мг·экв/л	2,3	2,1	2,8	2,0	3,2	3,1	4,8	4,5	2,7	2,2	2,4
11	Окисляемость КМnO <sub>4</sub> , мг/л	1,8	0,5	0,7	0,9	0,4	0,3	0,8	0,2	0,1	0,2	0,7
12	Показатель рН	7,5	7,3	7,2	7,3	7,8	6,6	6,6	6,6	6,6	7,0	7,3
13	Привкус, балл	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
14	Запах, балл	2,2	2,2	2,2	3,4	4,5	3,4	5,2	4,5	2,1	1,3	1,0
15	Железо, Fe <sup>2+</sup> , мг/л	1,9	2,7	4,9	4,9	9,10	12,19	20,14	1,5	3,0		

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
16	Марганец, Mn <sup>2+</sup> , мг/л	0,05	0,01	0,2	0,4	0,8	1,9	0,9	1,9	1,7	0,5	0,06	0,01
17	Кальций, мг·экв/л	2,9	1,8	1,75	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5	4,4	1,95	1,85	
18	Содержание углекислоты, CO <sub>2</sub> , мг/л	10	20	30	40	50	75	80	100	125	130	10	31
19	Температура воды, °С	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7
20	Общее солесодержание, мг/л	350,5	500,76	250	450,75	700,37	460,56	230,03	360,306	220,39	820,33	500,47	130,37

Таблица А.2 – Исходные данные для вариантов 13–24

№ п/п	Исходные данные	Вариант											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Среднесуточное потребление воды Q населенным пунктом, тыс. м <sup>3</sup> /сут	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
2	Источник водоснабжения	Поверхностные воды											
3	Отметка площадки очистной станции над уровнем моря, м	119	120	125	130	115	110	123	127	132	122	117	129
4	Территориальная полоса, где находится станция	центральная											

5	Состав грунтов площадки:												
	От 0 до 0,6 м	Суглинок	Супесь	Песок	Суглинок	Суглинок	Супесь	Песок	Суглинок	Суглинок	Супесь	Песок	Суглинок
	От 0,6 до 3 м	Песок	Песок	Глина	Глина	Песок	Песок	Глина	Глина	Песок	Песок	Глина	Глина
	От 3 м и ниже	глина	глина	песок	песок	глина	глина	песок	песок	глина	глина	песок	песок
6	Глубина уровня грунтовых вод, м	3	4,5	2,7	3,5	4,2	3,1	3,6	2,6	4,2	4,7	3,4	2,5

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
7	Цветность источника воды, град	57	60	70	55	65	75	80	68	64	53	74	78
8	Мутность источника воды, мг/л												
	Наибольшая	130	210,8	216	324,7	213,2	320	323	233	127	290	100	200,8
	Наименьшая	12,1	20,8	30	10,4	50,6	15	90	25	70	15	30	20,5
9	Жесткость воды, мг/эквл												
	Общая	4,69	4,1	5,6	7,4	2,8	3,7	4,7	7,1	5,2	6,1	1,6	4,34
	Карбонатная	2,5	2,35	3,6	4,5	1,07	0,5	2,0	4,6	2,4	4,6	1,0	3,15
10	Щелочность, мг-эквл/л	2,5	2,35	3,6	4,5	1,07	0,5	2,0	4,6	2,4	4,6	1,0	3,15
11	Окисляемость КМnO <sub>4</sub> , мг/л	21,8	19,7	22	38,7	45,5	55	35	28	15	37	53	11,3
12	Показатель pH	7	7,5	7,3	7,2	7,6	7,1	8	7,3	7,7	7,4	7,8	7,9
13	Привкус, балл	3	2	3	4	3	4	4	3	1	3	4	3
14	Запах, балл	2	2	3	3	4	4	3	3	2	2	4	4
15	Фтор, мг/л	0,3	0,5	0,2	0,4	0,5	0,07	0,4	0,4	0,5	0,08	0,09	0,06
16	Железо, мг/л	0,13	0,08	0,16	0,12	0,19	0,1	0,04	0,09	0,06	0,16	0,22	0,05
17	Содержание углекислоты, мг/л	0	0,5	0,6	1,3	2,0	1,5	0,7	0,5	0,3	0,8	1,45	1,67

18	Фенолы, мг/л	0,01	0,0013	0,01	0,0017	0,0014	0,0016	0,0015	0,0012	0,0011	0,0018	0,0019	0,001
19	Нефтепродукты, мг/л	0,4	0,3	0,2	0,5	0,45	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,2	0,39
20	Азот аммонийный, мг/л	2	3	4	5	6	7	8	3	5	7	9	10
21	ПАВ, мг/л	0,5	1	1,5	2	1,8	0,9	2,5	1,9	2,4	2,1	1,2	0,45
22	Содержание кислорода, мг/л	10	11	12	11,3	10,1	9,9	9,7	9,5	9,3	9,1	10,3	10,5
23	Фитопланктон, кл/мл	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>
24	Сульфаты, мг/л	60	65	70	75	80	85	90	95	100	62	74	86
25	Кальций, мг-экв/л	3,2	2,8	3,9	5	1,7	2,2	3,2	4,7	3,5	3,5	1	3
26	Хлориды, мг/л	70	80	85	75	90	95	60	65	100	96	81	63
27	Общее соленосодержание, мг/л	660	780	890	970	590	670	870	950	750	840	860	580

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Состав курсового проекта.....	4
2 Принцип выбора метода обработки воды.....	4
3 Требования к качеству воды для хозяйственно-питьевых целей.....	5
4 Классификация подземных и поверхностных вод.....	8
5 Технологические схемы осветления воды.....	10
5.1 Технологические процессы и сооружения.....	10
5.2 Классификация технологических схем.....	11
5.3 Выбор технологической схемы.....	15
6 Методика расчета основных сооружений.....	19
6.1 Определение производительности водоочистой станции.....	19
6.2 Микрофилтеры и барабанные сетки.....	21
6.3 Биореакторы для биологической предочистки воды.....	26
6.4 Реагентное хозяйство.....	29
6.5 Смесители.....	57
6.6 Камеры хлопьеобразования.....	67
6.7 Обработка природных вод отстаиванием.....	80
6.8 Осветлители природных вод.....	97

6.9 Интенсификация работы отстойников и осветлителей.....	109
6.10 Очистка природных вод фильтрованием.....	122
6.11 Повторное использование воды от промывки фильтров и обработка осадка.....	155
6.12 Адсорбционные фильтры для глубокой очистки воды.....	171
6.13 Биосорберы.....	174
6.14 Методы обезжелезивания воды.....	177
6.15 Установки для обеззараживания воды.....	196
6.16 Стабилизационная обработка воды.....	223
6.17 Резервуары чистой воды.....	228
7 Насосные станции II подъема.....	233
8 Высотная схема сооружений на станциях водоподготовки.....	237
9 Генеральные планы станций водоподготовки.....	244
10 Мероприятия по технике безопасности.....	251
Список литературы.....	261
Приложение А Исходные данные для курсового проектирования.....	262