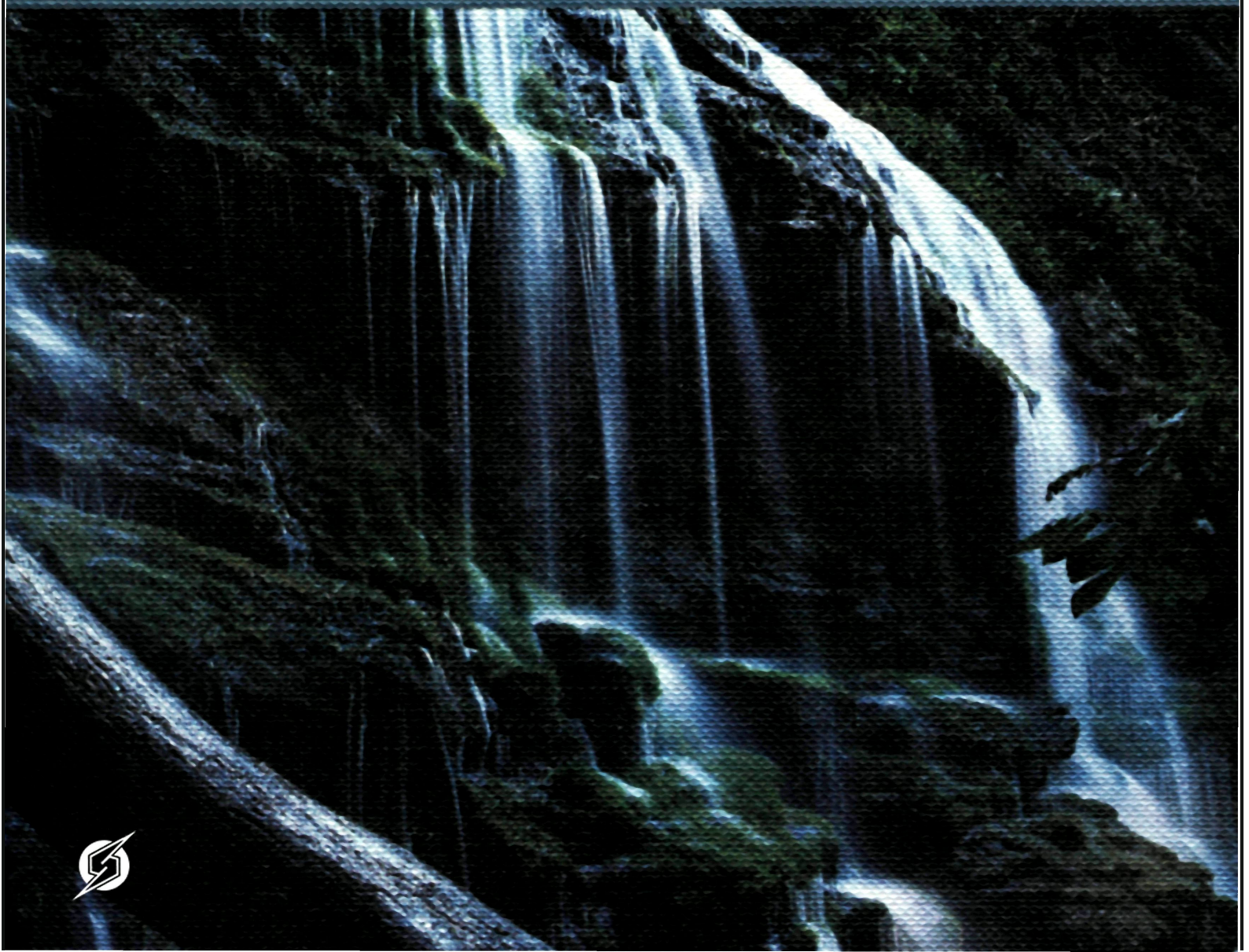
Библиотека СОК

Е.А. Горбачев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДА ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ



Е.А. Горбачев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДА ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Допущено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение» направления подготовки дипломированных специалистов «Строительство»

Издание второе, дополненное и переработанное





Москва 2004
Издательство Ассоциации строительных вузов

ББК 38.761.1
Г 67
УДК 628.16

Рецензенты:
д.т.н., проф., зав. каф. водоснабжения и водоотведения Казанской государственной архитектурно-строительной академии *А.Б. Адельшин;*
д.т.н. проф., зав. каф. водоснабжения и водоотведения Тольяттинского государственного университета *Ю.И. Вдовин;*
начальник отдела очистных сооружений водопровода и канализации (ОСВиК) НижегородНИИнефтепроект *Т.В. Савельева.*

Горбачев Е.А.
Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников: Учеб. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. - 240 с.

ISBN 5-93093-271-9

В пособии даны основные сведения о составе вод поверхностных источников. Приведены материалы для ознакомления с назначением, условиями и принципами работы, конструкциями, методами расчета и проектирования очистных сооружений водопровода. Представлены компоновочные решения станций водоподготовки.

Разработано для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение». Может быть полезно магистрантам, специалистам, работающим в проектных, строительных, эксплуатационных и природоохранных организациях.

ISBN 5-93093-271-9

© Издательство АСВ, 2004
© Горбачев Е.А., 2004

Горбачев Евгений Алексеевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДА ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Компьютерная верстка: *Е.В. Орлов*
Редактор: *Н.А. Воронова*
Корректор: *А.Н. Хрулева*
Дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 17.03.04
Подписано к печати 18.04.2004. Формат 60 х 90/16.
Бумага офс. № 1. Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл. 15 п. л. Тираж 2000 экз. Заказ № 10041

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, оф. 511
тел., факс: 183-57-42
e-mail: iasv@mgsu.ru



Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6

Содержание

Введение..... 5

Раздел первый. **КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД**..... 6

Глава 1. Химический состав природных вод и факторы, влияющие на его формирование..... 6

Глава 2. Особенности формирования поверхностных вод и их качественный состав..... 13

2.1. Реки..... 13

2.2. Водохранилища..... 14

2.3. Озера..... 16

Раздел второй. **СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ. НОРМЫ И ОБЪЕМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ**..... 31

Глава 3. Назначение систем водоснабжения и их классификация..... 31

3.1. Назначение систем водоснабжения..... 31

3.2. Классификация систем водоснабжения..... 31

3.3. Централизованная система водоснабжения..... 31

Глава 4. Нормы и объемы водопотребления 33

4.1. Выбор норм водопотребления..... 33

4.2. Расчет объемов водопотребления..... 37

Раздел третий. **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ ВОДОПОДГОТОВКИ**..... 41

Глава 5. Методы и технологические схемы улучшения качества природных вод..... 41

5.1. Требования к качеству воды хозяйственно-питьевого назначения..... 41

5.2. Выбор методов обработки природных вод..... 44

5.3. Технологические схемы, применяемые при обработке воды..... 46

5.4. Выбор состава водоочистных сооружений..... 48

Глава 6. Расчет и компоновка реагентного хозяйства..... 52

6.1. Назначение и виды применяемых реагентов..... 52

6.2. Расчет реагентного хозяйства..... 59

6.3. Примеры компоновки реагентного цеха..... 75

Глава 7. Расчет смесительных устройств и камер хлопьеобразования..... 77

7.1. Краткие сведения о смесителях и камерах хлопьеобразования..... 77

7.2. Расчет смесителей..... 78

7.3. Расчет камер хлопьеобразования..... 93

Глава 8. Обработка природных вод отстаиванием 103
8.1. Назначение и сущность метода отстаивания 103
8.2. Конструкции отстойников и их расчет 103
8.3. Интенсификация работы отстойных сооружений 124
Глава 9. Осветлители природных вод 132
9.1. Краткие сведения об осветлителях 132
9.2. Конструкции осветлителей и их расчет 133
9.3. Интенсификация работы осветлителей 144
Глава 10. Очистка природных вод фильтрованием 152
10.1. Краткие сведения о фильтрах 152
10.2. Фильтрующие установки и аппараты 152
10.3. Расчет фильтрующих установок и аппаратов 153
10.4. Интенсификация работы фильтров 188
Глава 11. Установки для обеззараживания воды 192
11.1. Методы обеззараживания воды 192
11.2. Обеззараживание воды хлором 193
11.3. Обеззараживание воды сильными окислителями 197
11.4. Озонирование воды 199
Глава 12. Генеральные планы и высотные схемы сооружений станций водоподготовки 217
12.1. Выбор площадки 217
12.2. Генеральный план станций водоподготовки 217
12.3. Высотные схемы технологических сооружений 222
12.4. Повторное использование промывной воды и обработка осадка 230
Глава 13. Автоматизация очистных сооружений водопровода 233
13.1. Значение и объем автоматизации 233
13.2. Технологический контроль 234
13.3. Система управления 234
Глава 14. Техника безопасности и противопожарные мероприятия в проекте водопроводных очистных сооружений 236
14.1. Мероприятия по технике безопасности 236
14.2. Противопожарные мероприятия 238
Литература 239

Введение

Проблема обеспечения населения России питьевой водой нормативного качества и в достаточном количестве стала одной из главных и определяющих в решении проблем жилищно-коммунального комплекса. Из-за высокого загрязнения водоисточников традиционные технологии стали недостаточно эффективными и не всегда обеспечивают надежную водоподготовку и подачу населению питьевой воды гарантированного качества. Ситуация с неблагоприятным положением водоснабжения продолжает нарастать.

В 1998 г. Правительством Российской Федерации принято постановление «О концепции федеральной целевой программы «Обеспечение населения России питьевой водой» и осуществлении первоочередных мероприятий по улучшению водоснабжения населения». Решение мероприятий, предусмотренных Программой, позволит охватить централизованным водоснабжением дополнительно 15 млн. городских жителей, обеспечить 19 млн. сельских жителей питьевой водой, соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям. В результате к 2010 г. 90% населения России будет обеспечено качественной питьевой водой (в т.ч. 94% городского и 83% сельского населения). Программные мероприятия по водоснабжению позволят ежегодно экономить порядка 2 куб. км питьевой воды.

Уменьшение поступления неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод в водные объекты – источники питьевого водоснабжения – позволит в основном довести к 2010 г. качество воды в поверхностных питьевых водоисточниках до показателей второго класса по критериям пригодности для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Реформирование жилищно-коммунального хозяйства позволит в короткие сроки нормализовать экономическое положение отрасли, повысит устойчивость и надежность функционирования жилищно-коммунальных систем жизнеобеспечения населения.

Проблема модернизации, технического перевооружения и развития систем коммунального водоснабжения из технической перерастает в финансово-экономическую.

На российском рынке имеется широкий выбор как отечественных, так и зарубежных материалов, оборудования, установок, приборов, реагентов и технологий, необходимых для модернизации систем водоснабжения. При этом требуются весьма значительные финансовые ресурсы на восстановление, модернизацию существующих и внедрение новых технологий.

В настоящее время изучение химического состава воды и качественных показателей источников природных вод прочно вошло в круг вопросов, решаемых при проектировании водопроводных очистных сооружений. Кроме того, сведения о химическом составе воды позволяют более полно познать и чисто физические процессы, происходящие в водоемах. После внимательного изучения качественного состава заданного источника водо-

снабжения и его оценки можно подобрать основные технологические процессы для подготовки воды.

При разработке проекта очистных сооружений водопровода 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 проектах должны приниматься решения, которые позволяли бы сократить капитальные вложения, затраты труда на строительство, уменьшить материально-технические ресурсы по сравнению с аналогичными действующими станциями водоподготовки как на стадии проектирования и строительства, так и во время эксплуатации. Успешное решение этих задач возможно в связи с применением более прогрессивных технологий в водоподготовке, объемно-планировочных и конструктивных решений, улучшением технико-экономических показателей объекта строительства.

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

В пособии, предназначенном для грамотного выполнения студентами курсовых и дипломных проектов (работ) очистных сооружений водопровода, материал изложен с учетом современных требований, направленных не только на приобретение знаний в процессе обучения, но и на применение их в практической деятельности. В нем обобщен многолетний методологический опыт работы кафедры водоснабжения и водоотведения Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета (ННГАСУ) с учетом сложившихся приоритетов в практике учебного процесса, проектирования, строительства и эксплуатации станций водоподготовки из поверхностных источников.

Автор выражает глубокую признательность коллективам кафедр водоснабжения и водоотведения Казанской государственной архитектурно-строительной академии (зав. кафедрой, доктор технических наук, профессор А. Б. Адельшин) и Тольяттинского государственного университета (зав. кафедрой, доктор технических наук, профессор Ю. И. Вдовин) и коллективу отдела очистных сооружений водопровода и канализации НижегородНИИнефтепроект (начальник отдела Т. В. Савельева) за ценные замечания и полезные советы, сделанные ими при рецензировании пособия.

Раздел первый. КАЧЕСТВО ПРИРОДНЫХ ВОД

Глава 1. Химический состав природных вод и факторы, влияющие на его формирование

Природные воды представляют собой сложные растворы, содержащие минеральные и органические вещества и газы. Весь сложный комплекс веществ, находящихся в разных формах ионно-молекулярного и коллоидного состояния, обусловливает химический состав природных вод. Он зависит от среды, в которой происходит его формирование, т.е. от состава и раствори-

мости веществ, с которыми контактирует вода, а также условий, при которых происходит это взаимодействие.

По своему химическому составу природные воды чрезвычайно разнообразны. Они отличаются и химическими элементами, и общей концентрацией растворенных веществ, и количественным соотношением между компонентами состава и формой их соединений. Газы в природной воде находятся, главным образом, в виде молекул, соли - в виде ионов, органические вещества – как в молекулярных соединениях, так и в коллоидном состоянии. Состав природных вод усложняется еще и тем, что один и тот же элемент может находиться в воде в различных соединениях и состояниях.

В природных водах растворены все известные на земле химические элементы, но большая часть из них присутствует в столь малых количествах, что пока они не могут быть определены из-за недостаточной чувствительности аналитического оборудования и методов их анализа. Однако их присутствие обнаруживается косвенно в живых организмах, способных аккумулировать химические элементы из окружающей воды. Присутствие других элементов доказывается их наличием в донных отложениях водоемов.

Химический состав природных вод условно подразделяют на следующие группы: 1) главные ионы; 2) растворенные газы; 3) биогенные вещества; 4) микроэлементы; 5) органические вещества.

Кроме указанных групп химического состава воды, при изучении природного источника определяют такие качественные показатели, как жесткость, щелочность, окисляемость, агрессивность. Они характеризуют свойства воды и обусловлены не одним, а совокупностью нескольких компонентов состава воды.

Важным показателем воды является ее минерализация, под которой понимают сумму всех обнаруженных при анализе минеральных веществ, содержащихся в данной воде. Эта количественная характеристика состава воды носит условный характер, т.к. полнота анализа может быть различной. Чаще на практике о солесодержании природных вод судят по величине сухого остатка, который получают путем выпаривания определенного объема воды, предварительно профильтрованного через бумажный фильтр.

Кроме минерализации, существует еще близкое к ней по величине понятие «сумма ионов», под которой подразумевают сумму всех видов ионов, с концентрацией более 0,1 мг/л.

При изучении природных вод отдельно рассматривается ион водорода, концентрация которого в воде незначительна. Однако ион водорода играет очень большую роль как в химических, так и в биологических процессах, протекающих в водоемах.

Кроме того, в природной воде всегда находится некоторое количество твердых веществ в виде взвесей неорганического и органического происхождения.

Главные ионы. Главными они названы потому, что в сумме составляют основной процент (90 – 95%) всех растворенных веществ. Главными ионами являются ионы растворенных твердых веществ, в основном солей:

хлоридов ($NaCl$, $MgCl_2$, KCl, $CaCl_2$); сульфатов ($MgSO_4$, $CaSO_4$, K_2SO_4); карбонатов ($CaCO_3$, $MgCO_3$). К главным ионам относят также катионы K^+, Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2} и анионы Cl^-, SO_4^{-2}, HCO_3^-, CO_3^{-2}. Именно эти элементы являются определяющими при формировании химического состава воды. Количественное соотношение между главными компонентами в воде зависит от общей минерализации. В маломинерализованных водах преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{+2}; в высокоминерализованных – Cl^- и Na^+. Ионы Mg^{+2} занимают промежуточное положение между Na^+ и Ca^{+2}, так же как и ионы SO_4^{-2} – между HCO_3^- и Cl^-. Такая закономерность объясняется различием растворимости хлористых, сульфатных и карбонатных солей щелочных и щелочноземельных металлов.

Растворенные газы. Газы в природных водах всегда присутствуют в растворенном состоянии. Количество их и качественный состав зависят от природных условий, в которых находится вода. Вода обогащается газами: из атмосферы (N_2, O_2, Ar, CO_2, инертные газы); при биохимических процессах (CO_2, CH_4, H_2S, N_2, H_2); при процессах дегазации мантии и выветривания горных пород, происходящих в глубинных слоях земной коры при высоких температурах и давлении (CO_2, CO, H_2S, H_2, NH_3, CH_4 и др.).

Первая и вторая группы газов характерны, главным образом, для поверхностных вод и таких подземных вод, в которые проникают инфильтрационные воды с поверхности. Третья группа свойственна для подземных глубинных вод. Наиболее широко распространены в поверхностных водах кислород, двуокись углерода и азот.

Биогенные вещества. К биогенным элементам относят: азот, фосфор, калий и др. в различных соединениях. Существование этих элементов тесно связано с жизнью природных водоемов. Без этих элементов в воде не смогли бы развиваться жизненные процессы и живые микро - и макроорганизмы.

Концентрация биогенных веществ в воде и их режим целиком зависят от интенсивности биохимических и биологических процессов, происходящих в водном источнике. Она изменяется в довольно широких пределах в зависимости от соотношения интенсивности процессов потребления и воспроизводства. Биогенные вещества находятся в постоянном круговороте, цикл которого начинается в процессе фотосинтеза и заканчивается разложением водных растений и животных. В результате биогенные вещества переходят из органических соединений в неорганические. Так, соединения фосфора могут находиться в воде в виде иона ортофосфорной кислоты (минеральный фосфор) и в виде соединений в органическом веществе (органический фосфор). Азот также содержится в виде ряда неорганических и ор-

ганических веществ. Неорганические соединения азота обычно представлены нитратными ионами NO_3^-, нитритными NO_2^- и ионами аммония NH_4^+. В органических соединениях азот находится, главным образом, в составе белка тканей организмов и продуктов его распада. Обмен азота между его неорганическими и органическими формами и живыми организмами является основным фактором, определяющим его содержание в воде.

Кремний в воде находится как в виде слабой кремниевой кислоты H_2SiO_3 в истинно растворенном, высокодисперсном и коллоидном состояниях, а также попадает в воду в результате распада организмов, имеющих кремниевые скелеты и панцири.

Выделение группы биогенных веществ до некоторой степени условно, т.к. в жизненных процессах, происходящих в природных водах, участвует и ряд других элементов (Ca^{+2}, Mg^{+2}, K^+ и др.).

Микроэлементы. В природных водах, кроме основных элементов, находятся вещества, содержание которых незначительно (Be^{+2}, Mo^{+4}, Se^{+6}, Sr^{+2}, F^-). По количеству элементов эта группа самая многочисленная, а по концентрации характеризуется наименьшими величинами. Суммарное содержание всех микроэлементов составляет незначительную долю от общего состава.

Микроэлементы в воде могут присутствовать как в ионной, молекулярной, так и в коллоидной формах, а также в виде взвеси. Большинство форм микроэлементов неустойчиво, т.к. взвесь и коллоиды с течением времени выпадают в осадок.

Изучение режима микроэлементов и их изменения во времени и пространстве очень трудоемко из-за многообразия форм самих элементов и сложности их аналитического определения.

Органические вещества. Органические вещества входят в состав большинства природных вод. Наличие жизни в воде является основой возникновения органического вещества.

По происхождению органические вещества природных вод подразделяют на вещества, поступающие извне, и вещества, образующиеся в самом водоеме.

К первой группе относятся, главным образом, органические вещества, поступающие с промышленными и бытовыми сточными водами, а также гумусовые вещества, которые вымываются водой из почв торфяников, лесного перегноя и других остатков распада веществ растительного происхождения. Остатки водных растительных и животных организмов под влиянием физических, химических и биохимических факторов претерпевают сложные превращения в своем составе. При благоприятных условиях (наличии кислорода) достигается полный распад органических веществ на простейшие неорганические соединения. Но часто из-за ограниченного доступа кислорода процесс разложения органических веществ идет не до

полной минерализации, а с образованием сложных комплексов органического характера, носящих название гумуса. При изучении водных источников наибольший интерес представляют гуминовые и фульвокислоты, которые характерны для гумуса, но не содержатся в живых растительных и животных тканях.

Гуминовые кислоты представляют собой высокомолекулярные соединения, включающие циклические образования и ряд фенолгидроксильных, карбоксильных и аминогрупп. Молекулярная масса их от 150 до 1500. Все они обладают коллоидными свойствами.

Фульвокислоты - высокомолекулярные соединения типа оксикарбоновых кислот, но с меньшим числом углеродных атомов и более выраженными кислотными свойствами.

Гумусовые кислоты (гуминовая, фульвокислоты) обладают способностью образовывать комплексные соединения с различными металлами.

Вторая группа органических веществ образуется в результате сложных процессов создания первичного органического вещества и его разложения. Первичное органическое вещество создается благодаря деятельности хемосинтезирующих бактерий и синтезирующих растений. В воду поступают продукты жизнедеятельности организмов и остатки организмов населяющих водоемы. Эти вещества частично остаются во взвешенном состоянии в воде, где поедаются другими организмами или распадаются, а также частично опускаются на дно, где подвергаются последующим изменениям, которые связаны в основном с жизнедеятельностью бактерий. Микроорганизмы, населяющие водоемы, превращают сложные органические вещества в более простые. При этом часть биохимически стойких веществ, которая может очень долгое время существовать в воде, образует, так называемый, водный гумус.

Распад органического вещества в природных водах, называемый процессом минерализации, имеет важное значение не только для уничтожения остатков организмов и продуктов их жизнедеятельности в водоеме, но и для возврата в воду ряда элементов (C, N, P), необходимых для питания водных растений.

Сложность и разнообразие органического вещества в воде, малые концентрации его компонентов не позволяют получить количественную оценку органического вещества водоема. В настоящее время органическое вещество характеризуют косвенными показателями, позволяющими судить о суммарном его содержании. К числу их относятся определение органического углерода, азота, фосфора, окисляемость воды, величина БПК. Присутствие в природных водах растворенных солей и газов обеспечивают возможность существования жизни в реках и озерах. От качественного состава воды зависят многие их физические свойства: температура замерзания, величина испарения, цвет, прозрачность, а также характер протекающих в воде химических процессов. Велико и практическое значение химического состава воды. Его необходимо учитывать при использовании водных объектов для всех видов водоснабжения (хозяйственно-питьевого, тех-

нического, гидротранспорта), при строительстве гидротехнических сооружений (для предупреждения коррозии бетона, металлов), при орошении и рыбном промысле. Знание состава воды данного объекта позволяет определить возможность его использования для хозяйственных целей или наметить пути улучшения качества воды источника.

Химический состав воды каждого водоема на поверхности земли формируется под воздействием комплекса факторов, которые характерны для данной территории.

Все факторы, определяющие формирование химического состава природных вод, принято объединять в две группы.

К первой группе относят прямые факторы, которые непосредственно обогащают воду ионами или молекулами. Такими факторами являются: породы и грунты почвы, с которыми соприкасается вода в процессе своего кругооборота; живые организмы и продукты жизнедеятельности человека.

Основным источником пополнения запасов вод суши являются атмосферные осадки. Мельчайшие капли дождевой воды при своем падении на землю увлекают из воздуха различные вещества. Это прежде всего газы (CO_2, N_2, O_2), ионы солей и окислов азота (SO_4^{-2}, Cl^-, HCO_3^-, NO_3^-, NH_4^+, Ca^+, Mg^+, Na^+, K^+), попадающие в атмосферу в результате промышленного загрязнения воздуха (особенно от сжигания топлива). Средняя минерализация атмосферных вод составляет 10–20 мг/л. Основное же формирование химического состава воды начинается после попадания осадков на земную поверхность (при соприкосновении их с почвой). При этом происходит целый ряд химических и физико-химических процессов, влияющих на формирование химического состава воды поверхностных и подземных источников.

Прежде всего происходит вымывание солей из почвенного покрова угольной кислотой и некоторыми органическими кислотами, которые образуются при распаде растительных остатков, что приводит к увеличению ионного состава воды. В воде возрастает концентрация катионов (кальция, магния, натрия), увеличивается количество некоторых ионов (хлоридов, сульфатов, карбонатов), появляется двуокись кремния. При контакте с почвой в воде изменяется и ее газовый состав. В результате расхода кислорода на окисление органических веществ почвы концентрация его в воде уменьшается, а количество двуокиси углерода при этом увеличивается.

На химический состав природных вод непосредственное воздействие оказывает хозяйственная деятельность человека. Сбрасываемые в водоемы промышленные и бытовые сточные воды часто резко изменяют естественный химический состав вод. Особенно большое влияние оказывают сточные воды атомной промышленности, предприятий химической промышленности и нефтеперерабатывающих заводов. В результате инженерно-технической деятельности человека из недр земли извлекаются миллиарды тонн различных веществ ($NaCl$, $CaSO_4$, $CaCO_3$, металлов, CO_2 из неф-

ти и угля), которые вовлекаются в круговорот, что изменяет режим водоемов, структуру почв, загрязняет атмосферу, поверхностные и подземные воды.

Ко второй группе факторов, влияющих на формирование химического состава воды, относят косвенные факторы. Это климатические и погодные условия, водный режим, а также деятельность человека. Из косвенных факторов наибольшее влияние оказывает климат. Климат в свою очередь определяется гидрометеорологическими условиями, соотношением баланса тепла и влаги, от которых зависит степень увлажненности местности и, следовательно, водный режим водоемов. Преобладание осадков над испарением создает большое увлажнение и вместе с тем малую минерализацию вод. Наоборот, малое количество осадков при высоких температурах воздуха создает сильное испарение, что способствует повышению минерализации вод. Поскольку климат зависит от широты местности, близости моря и морских течений, циркуляции воздушных масс, рельефа местности и т.д., влияние его на химический состав вод очень сложно и многообразно.

Важную роль в формировании химического состава природной воды играют условия функционирования водоемов. Минерализация вод зависит от морфологических особенностей водоема, т.е. его размеров, глубины, условий питания, характера водообмена, наличия процессов испарения, перемешивания, стока и т.д. Поэтому химический состав воды в водоеме на всем его протяжении никогда не будет одинаковым.

Деятельность человека влияет также косвенно на химический состав природных вод. Это сказывается на изменении водного режима водоемов в результате гидротехнического строительства, сооружения водохранилищ и каналов, забора воды на нужды промышленности и с/х водоснабжение.

Глава 2. Особенности формирования поверхностных вод и их качественный состав

2.1. Реки

Реки являются основными источниками водопользования. Особенностью рек как водоемов является то, что химический состав воды находится под влиянием обмена с окружающей атмосферой. Формирование состава воды происходит в самых поверхностных слоях земной коры, большей частью хорошо промытых. Один и тот же объем воды в русле реки находится очень незначительное время, что ограничивает срок взаимодействия с породами и влияние процесса испарения воды. Химический состав речной воды сильно зависит от климатических и погодных условий. На него также воздействуют растительные и животные организмы. Все эти факторы способствуют тому, что воды рек имеют сравнительно невысокую минерализацию. Химический состав воды рек легко изменяется под влиянием гидрометеорологических условий. В составе воды всегда находятся атмосферные газы и растворенный кислород, что способствует интенсификации биологических процессов, значительно влияющих на химический состав природной воды. Речной сток формируется под влиянием комплекса природных условий (климата, рельефа, атмосферных осадков и т.д.).

Реки из всех природных источников обладают наиболее значимой изменчивостью состава воды во времени, связанной со сменой погодных условий и неоднородностью состава солей, находящихся в почвах и породах бассейна реки. Превалирующее влияние на состав воды оказывает источник питания: снег, дождь, ледники, горные снега, подземные воды. Поверхностное питание значительно снижает солесодержание воды реки и обогащает ее органическим веществом, а подземное, наоборот, увеличивает минерализацию воды, уменьшает количество органического вещества в ней.

В формировании стока реки обычно участвуют не все виды питания, а только часть из них. Доля каждого для любой реки изменяется в течение года, и это определяет сезонный характер состава речной воды и его неустойчивость.

Многообразие климатических условий, определяющих различное количество выпадающих осадков, их характер и условия накопления, а также совокупность других физико-географических условий создают различие в водном режиме рек. Поэтому гидрохимический режим рек, расположенных в разных физико-географических условиях, неодинаков. Участие в питании реки вод разного происхождения, объем которых меняется в течение года, отражается не только на минерализации воды, но и на соотношении между ионами. Размер колебаний в составе ионов зависит от неоднородности состава почв и пород, слагающих бассейн реки.

Для рек большой протяженности также характерна неоднородность химического состава воды, как по ширине, глубине и, особенно, по ее длине. Причинами такой неоднородности являются различные притоки, грунтовое питание, смена вод разного происхождения в русле реки.

По величине минерализации воды реки принято разделять на следующие виды:

малой минерализации – до 200 мг/л;

средней минерализации – 200–500 мг/л;

повышенной минерализации – 500–1000 мг/л;

высокой минерализации – свыше 1000 мг/л.

Большинство рек земного шара имеют малую и среднюю минерализацию воды.

Каждая река имеет свой индивидуальный гидрохимический режим, который определяется совокупностью условий, влияющих на формирование химического состава воды в пределах данного речного бассейна. При годичных изменениях величины минерализации меняются не только общее содержание ионов, но и соотношение между ними.

Переход реки с поверхностного питания на подземное сопровождается поступлением в нее большого количества ионов растворимых солей. Следовательно, в зимний период, когда зеркало воды покрыто слоем льда, наблюдается наибольшая концентрация в воде растворенных солей. В период весеннего паводка поступает большое количество талых вод, что резко снижает общую минерализацию воды, но при этом увеличивается концентрация нерастворимых примесей (взвеси) и наличие органических веществ. В летнее время химический состав речной воды зависит от частоты выпадания атмосферных осадков. У многих рек имеет место осенний паводок, связанный с обильными осенними дождями. Характер изменения состава воды в осенний период и процесс выщелачивания солей осенью протекает иначе, чем весной. Существенное значение имеет также состояние поверхности почвы и грунта в период, предшествующий паводку.

Участие в питании реки вод разного происхождения, объем которых меняется в течение года, отражается не только на минерализации воды, но и на соотношениях между ионами. Размер колебаний в составе ионов зависит от неоднородности состава почв и пород, слагающих бассейн реки, и, следовательно, от различия состава почвенных, грунтовых, подземных вод. Количество биогенных веществ в речных водах тесно связано с жизнедеятельностью фотосинтезирующих организмов. Как правило, концентрация биогенных элементов в реках невелика и меняется в течение года в зависимости от интенсивности процессов фотосинтеза.

Количество растворенных газов в реке находится в зависимости от температуры воды, фотосинтезирующей деятельности водных организмов, а также продолжительности подледного периода и характера водного питания.

2.2. Водохранилища

Водохранилища - это искусственные водоемы, создаваемые с целью более рационального использования природных вод для нужд народного хозяйства. Размер их может быть самым различным в зависимости от целей использования. С помощью больших водохранилищ разрешаются пробле-

мы транспорта, энергетики, орошения и обводнения засушливых территорий, водоснабжения, рыбного хозяйства. В засушливых районах часто строят мелкие водохранилища с целью сохранения весенних вод местного стока.

Химический состав воды в водохранилищах имеет большое значение для их эксплуатации. По своим гидрохимическим особенностям водохранилища близки к озерам, но они отличаются от последних в силу своего искусственного происхождения тем, что, как правило: 1) имеют вытянутую форму, при которой глубины увеличиваются к плотине; 2) в верхней части водохранилища, куда впадает река, поддерживается полуречной режим; 3) появляется возможность управления водным режимом путем регулирования стока. Это накладывает свой отпечаток на состав воды.

Гидрохимический режим водохранилища устанавливается лишь через определенный период «созревания», связанный с затоплением площадей, где находились леса, луга, пашни, населенные пункты. В период созревания идет разложение растительности, бытовых загрязнений населенных мест, происходит формирование новых грунтов дна водохранилища, в процессе которого почвы, вступая в обмен с водой, меняют ее состав. В результате всего этого вода водохранилища обогащается различными нерастворимыми, а также растворимыми минеральными и органическими веществами. При этом значительно ухудшаются кислородный режим водоема, физические свойства воды, ее санитарные показатели. Период первичного формирования химического состава воды водохранилищ определяется временем, в течение которого, в основном, происходит распад органических веществ, остающихся на дне водоема. Он различен для разных водохранилищ. Постепенно интенсивность процессов ослабевает, и режим водохранилища стабилизируется. Устанавливается определенный химический состав воды, характерный для данного водоема, отличающийся от состава воды реки, на которой сооружено водохранилище. К происходящим изменениям, связанным с переходом речного режима к озерному, относятся: термическая стратификация; повышение температуры на поверхности; интенсификация развития планктона и высшей водной растительности; уменьшение количества взвешенных веществ. Происходят изменения и во всем комплексе растворенных веществ. Размер этих изменений зависит от характера самого водоема и окружающих условий и, главным образом, климата.

В результате аккумуляции в водохранилище большого объема паводковых вод сезонные изменения ионного состава воды происходят в более узких пределах, чем в водотоках.

Большое значение в засушливых климатических условиях имеет место испарение, т.к. площадь водохранилища значительно увеличивается по сравнению с рекой. Влияние процесса испарения на химический состав воды зависит не только от площади водохранилища, но и от скорости водообмена, который определяется продолжительностью пребывания воды в водохранилище.

2.3. Озера

Озера очень распространены на земной поверхности. Химический состав озерной воды схож с составом воды рек, впадающих в данное озеро, и питающих их подземных вод. Однако особенности озера как водоема придают специфические черты химическому составу воды и гидрохимическому режиму. Особенно большое влияние оказывают замедленный водообмен, размеры озера, его площадь, глубина и конфигурация.

В результате замедленного стока время пребывания воды в озере значительно больше, чем в русле реки. Это при соответствующих климатических условиях способствует процессу испарения, а следовательно, и повышению минерализации воды. Увеличение минерализации влечет за собой и другие процессы, часто изменяющие состав воды: выпадение солей в осадок, усиление обмена ионов озерных вод с илами и др. В засушливых климатических зонах встречаются озера с высокой минерализацией воды и, наоборот, в зонах избыточного увлажнения расположены озера с водой малой минерализации. По уровню минерализации воды, являющейся одной из важнейших характеристик озера, принято подразделять озера на три группы:

1) пресные с концентрацией растворенных солей не более 1 г/кг;

2) солоноватые с минерализацией 1–35 г/кг;

3) соляные с минерализацией – более 35 г/кг.

Другой особенностью, влияющей на состав воды, является размер озера. Большие озера, имея значительные водные массы, менее испытывают сезонные изменения по сравнению с малыми озерами. Состав воды также зависит от изменений, происходящих с составом воды притоков.

От размера и глубины зависит прогреваемость зоны, что значительно влияет на интенсивность биологических процессов, происходящих в озере. Развитие этих процессов оказывает свое действие на газовый состав воды и на концентрацию биогенных веществ. Роль биологического фактора особенно интенсивна для малых озер. С увеличением размера озера возрастает значение физических и физико-химических процессов.

Глубина озера, а также замедленный водообмен создают неоднородность состава воды по вертикали. Это является одной из характерных особенностей гидрохимического режима озера.

Таким образом, на химический состав воды озера оказывает влияние целый ряд факторов: поступление солей с притоками и грунтовыми водами; вынос солей со стоком; разбавление вод в период таяния льда и выделение солей в воду при образовании ледяного покрова; обмен ионов с иловыми отложениями; поглощение ионов водными организмами и выделение их в процессе распада.

Находясь под влиянием большого количества факторов, ионный состав воды озера становится неоднородным. Степень этой неоднородности зависит от следующих условий: 1) от соотношения объема озера и водоносно-

сти притоков; 2) от температуры воды притоков и распределения воды; 3) от различия в минерализации воды; 4) от формы озера.

Различие в минерализации и температуре воды притоков и озерной, в зависимости от условий перемешивания, создает возможность слоистого распределения вод притоков в водной массе озера.

Наибольшее различие в химическом составе воды озер наблюдается в прибрежных заливах и губах, особенно, если в них впадают реки.

Следовательно, размер минерализации озер зависит от величины элементов их водного баланса, соотношения объема водной массы озера к стоку, величины испарения, минерализации притоков и ряда других обстоятельств.

Озера по характеру взаимодействия с реками делятся на проточные и бессточные. Первые расположены преимущественно в гумидной и субгумидной зонах, а вторые – в ариодной, где испарение превышает количество выпадающих атмосферных осадков.

Показатели качественного состава воды природных источников приведены в табл. 2.1–2.3. Таблицы, в основном, составлены по источникам водоснабжения Нижегородской области и других районов страны на основе анализа воды этих источников, выполненного в Проблемной лаборатории по очистке природных и сточных вод при кафедре водоснабжения и водоотведения Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета (ННГАСУ). Кроме того, дополнительно использованы сведения о качественном составе воды источников, заимствованные из различных опубликованных материалов. В табл. 2.1 приведен качественный состав воды рек, в табл. 2.2 – водохранилищ, в табл. 2.3 – озер [1].

Минимальное количество исследуемых проб воды для поверхностных источников –12 проб в год, отбираемых ежемесячно. При необходимости получения более представительной и достоверной информации о химическом составе воды и динамике концентраций присутствующих в ней веществ, а также в соответствии с поставленными задачами оценки качества воды источника водоснабжения количество проб воды и их периодичность могут быть увеличены.

Таблица 2.1

Качественный состав воды рек

Показатели качественного состава воды	Источники				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
1. Мутность, мг/л	350	60	800	520	650
2. Цветность, градусы	120	80	40	50	70

Продолжение таблицы 2.1

3. Температура, °С	0,1-22	0,2-22	2,0-25	0,1-20	0,1-22
4. Активная реакция, pH	6,8	7,1	7,5	7,2	7,4
5. Жесткость общая, мг-экв/л	4,7	0,9	12,4	1,7	4,15
6. Жесткость карбонатная, мг-экв/л	2,4	0,8	5,8	1,3	2,35
7. Окисляемость, мг O_2/л	26,5	12,5	5,5	4,8	7,84
8. Железо общее, мг/л	4,8	0,4	0,2	0,3	0,07
9. Кислород растворенный, мг/л	5,0	8,0	6,0	8,0	6,0
10. Азот аммонийный, мг/л	0,5	2,5	0,5	0,8	1,5
11. Азот нитритный, мг/л	0,001	0,005	0,001	0,0015	0,004
12. Азот нитратный, мг/л	0,3	3,0	0,7	1,0	2,0
13. Щелочность, мг-экв/л	2,4	0,8	5,8	1,3	2,35
14. Фтор, мг/л	1,2	0,8	1,5	0,9	0,6
15. Марганец, мг/л	1,2	0,1	0,05	0,1	0,05
16. Кремний, мг/л	4,0	9,0	4,5	5,0	8,0
17. Углекислота свободная, мг/л	6,0	3,0	5,5	3,5	4,5
18. Углекислота гидрокарбонатная, мг/л	146,4	48,8	353,8	79,3	144,0
19. Сульфаты, мг/л	49,0	4,2	32,1	67,7	77,34
20. Хлориды, мг/л	110,6	3,0	11,2	11,0	39,2
21. Сухой остаток, мг/л	528,0	66,0	800,0	189,0	308,0
22. Коли-титр, л	0,001	0,004	0,002	0,008	0,01

Продолжение таблицы 2.1

23. Число колоний в 1 мл, шт.	12000	5000	8000	24000	13000
24. Кальций, мг/л	66,7	13,4	232,4	24,0	65,9
25. Магний, мг/л	16,7	2,5	9,72	6,1	10,21
26. Натрий + калий, мг/л	38,9	1,68	9,6	31,7	21,1

Показ. качест. состава воды	Источники										
	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й	13-й	14-й	15-й	16-й
1.	250	160	80	200	180	150	2000	170	1200	250	150
2.	85	60	150	35	45	90	35	65	30	60	70
3.	0,5-23	0,2-22	0,1-20	0,5-24	0,2-22	0,1-20	0,5-22	0,1-23	1,0-27	0,1-22	0,1-22
4.	7,2	7,3	6,9	7,4	7,2	7,1	7,5	7,2	7,6	7,2	7,1
5.	4,1	8,1	4,2	8,6	7,5	5,36	11,0	2,8	11,7	5,2	5,3
6.	2,45	7,1	3,9	3,8	6,0	4,0	5,2	2,7	6,6	2,2	3,1
7.	8,16	15,1	15,0	3,5	6,7	7,2	4,55	8,5	4,5	10,5	8,5
8.	0,2	1,0	6,0	0,08	0,3	2,18	0,3	0,5	0,1	1,1	0,5
9.	8,5	6,5	5,5	9,0	6,0	5,5	8,5	7,5	8,0	6,5	4,5
10.	1,2	3,5	3,0	0,5	1,5	1,1	0,75	2,5	0,5	0,5	3,5
11.	0,003	0,01	0,05	0,001	0,02	0,01	0,001	0,01	0,1	0,005	0,1
12.	1,5	6,5	5,6	0,89	2,5	1,5	0,9	3,0	2,0	1,7	5,4
13.	2,45	7,1	3,9	3,8	6,0	4,0	5,2	2,7	6,6	2,2	3,1

Продолжение таблицы 2.1

14.	0,8	0,5	0,6	0,8	1,1	0,75	1,5	0,75	1,1	0,65	0,75
15.	0,02	0,6	0,55	0,01	0,02	0,75	0,02	0,04	0,01	0,2	0,1
16.	2,5	4,5	6,0	3,0	1,5	4,5	4,0	5,6	6,0	3,0	6,0
17.	5,0	6,5	5,5	5,5	6,6	5,5	5,0	6,0	6,5	5,5	6,5
18.	149,2	433,0	237,9	232,0	366,0	244,0	317,0	165,0	402,6	134,4	189,0
19.	78,97	125,5	105,7	291,3	81,5	103,5	166,0	31,7	20,35	50,0	156,0
20.	48,62	89,2	36,1	182,0	53,5	53,5	120	34,0	369,2	440,0	100,0
21.	372,0	708,0	410,0	992,0	460,0	384,0	832,0	344,0	1167,2	1098,0	568,0
22.	0,01	0,03	0,004	0,01	0,020	0,035	0,03	0,009	0,005	0,0065	0,015
23.	8000	8500	7400	11060	10400	70740	13600	2800	8016	9000	5400
24.	63,2	60,12	110,6	110,6	104,0	70,74	136,0	28,1	80,16	90,0	54,0
25.	11,3	43,2	14,6	33,32	27,97	22,25	50,4	17,0	93,63	8,5	32,0
26.	32,9	97,2	63,6	151,2	41,04	52,56	24,96	36,48	228,0	250,8	92,82

Показ. качест. состава воды	Источники									
	17-й	18-й	19-й	20-й	21-й	22-й	23-й	24-й	25-й	26-й
1.	300	60	50	30	50	120	250	180	350	550
2.	65	80	100	120	60	70	40	50	70	40

Продолжение таблицы 2.1

3.	0,1-24	0,1-15	0,5-15	0,1-20	0,1-22	0,1-20	0,1-22	0,1-20	0,1-20	1,0-25
4.	7,3	7,2	7,4	7,1	7,15	7,3	7,45	7,2	7,6	7,05
5.	7,4	2,47	2,32	1,16	1,47	2,43	4,13	2,13	2,99	7,4
6.	3,8	2,1	2,19	1,1	1,3	1,93	3,0	2,0	1,7	3,04
7.	17,5	13,5	16,5	24,5	8,5	7,5	6,5	8,0	1,5	6,5
8.	0,3	0,6	0,8	0,3	0,3	0,7	0,9	0,3	0,5	0,5
9.	3,5	6,0	5,0	6,0	8,0	6,0	6,5	6,0	6,5	7,0
10.	5,5	0,5	0,7	1,2	0,4	0,9	0,7	0,6	0,5	1,2
11.	1,2	0,002	0,001	0,002	0,001	0,005	0,002	0,001	0,001	0,005
12.	9,5	0,8	0,7	1,0	0,3	1,0	0,6	0,8	0,6	1,3
13.	3,8	2,1	2,19	1,1	1.3	1,93	3,0	2,0	1,5	3,04
14.	0,65	0,3	0,2	0,7	0,8	0,9	0,3	0,7	0,4	1,2
15.	0,05	0,1	0,3	0,3	0,05	0,2	0,3	0,2	0,2	0,05
16.	8,0	0,6	0,7	0,1	0,3	0,4	0,2	0,5	0,4	0,7
17.	7,5	2,0	3,5	1,5	2,5	4,5	5,5	4,0	5,0	5,5
18.	232,0	132,0	133,7	67,9	79,3	118,0	180,3	124,0	91,5	185,5
19.	197,0	28,0	16,5	12,5	10,5	25,6	117,2	5,0	53,0	38,0
20.	214,0	0,7	3,6	2,0	0,4	10,3	13,5	14,0	159,0	171,3

Продолжение таблицы 2.1

21.	884,0	212,0	200,2	112,9	135,2	210,6	419,8	190,3	277,3	650,9
22.	0,035	0,055	0,065	0,075	0,05	0,085	0,075	0,015	0,009	0,008
23.	6000	10000	11500	8700	10500	8050	9050	9000	7050	7500
24.	60,0	35,5	30,6	16,5	21,8	34,1	52,6	29,0	44,0	108,6
25.	53,0	8,5	9,5	4,1	4,6	8,8	18,2	8,3	9,6	24,0
26.	156,7	5,52	7,44	6,24	1,44	7,24	18,56	8,64	102,96	30,0

Показ. качест. состава воды	Источники										
	27-й	28-й	29-й	30-й	31-й	32-й	33-й	34-й	35-й	36-й	37-й
1.	1200	150	150	450	800	300	600	250	700	350	160
2.	35	95	80	85	30	80	70	60	45	50	60
3.	0,5-25	0,5-25	0,1-20	0,1-23	1,0-25	0,1-20	0,1-20	0,1-20	0,1-22	0,1-24	0,1-20
4.	7,2	6,8	6,95	7,25	7,85	7,4	7,25	7,3	7,4	7,5	7,7
5.	3,84	0,31	0,57	1,39	6,07	4,19	2,36	3,48	1,99	3,75	2,86
6.	3,05	0,3	0,55	1,32	1,78	3,5	1,94	2,75	1,76	3,62	2,05
7.	8,5	32,0	25,0	18,0	5,5	8,5	7,5	11,5	6,5	5,5	8,0
8.	0,8	2,5	1,5	0,6	0,3	0,3	0,6	0,4	0,3	0,25	0,3
9.	5,5	6,0	6,5	8,0	8,5	7,5	8,5	6,5	6,0	6,0	7,0
10.	0,8	1,5	0,7	0,9	0,5	0,3	0,5	2,5	0,75	0,95	1,2
11.	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,0002	0,01	0,0005	0,001	0,001
12.	1,0	2,0	1,0	1,2	0,8	0,5	0,8	3,0	0,8	1,0	1,5

Продолжение таблицы 2.1

13.	3,05	0,3	0,55	1,32	1,78	3,5	1,94	2,75	1,76	3,62	2,05
14.	0,8	1,8	0,7	1,2	0,7	1,5	0,9	0,8	1,2	0,75	1,6
15.	0,2	0,5	0,3	0,2	0,05	0,05	0,15	0,25	0,05	0,1	0,05
16.	0,2	0,6	0,5	0,7	0,7	1,2	1,5	0,3	0,7	0,9	1,2
17.	6,0	0,5	1,5	3,0	4,0	6,0	4,5	4,5	3,0	5,0	3,5
18.	186,6	18,1	33,9	80,5	108,4	214,0	118,5	181,4	107,9	221,0	126,0
19.	40,1	0,8	9,8	16,2	199,0	39,1	22,7	24,6	22,0	15,4	77,8
20.	56,3	2,6	15,6	5,9	159,5	12,2	7,0	8,0	8,7	2,6	49,2
21.	391,1	30,3	90,6	166,7	684,9	358,8	196,1	281,2	188,7	220,8	301,0
22.	0,013	0,015	0,03	0,025	0,035	0,04	0,008	0,035	0,004	0,045	0,001
23.	8500	11500	24000	35000	15000	17000	17500	12000	24000	23000	22000
24.	49,6	5,4	7,0	23,5	105,8	75,9	33,9	503	31,0	58,2	32,2
25.	16,5	0,5	2,7	2,6	9,5	4,8	8,1	11,7	5,4	13,5	15,2
26.	39,12	1,2	13,2	7,44	104,4	11,04	6,0	0,3	11,52	22,1	52,8

Показ. качест. состава воды	Источники									
	38-й	39-й	40-й	41-й	42-й	43-й	44-й	45-й	46-й	47-й
1.	130	1500	2300	1800	650	50	120	30	150	1200
2.	100	80	50	65	85	120	60	70	40	50

Продолжение таблицы 2.1

3.	0,4-24	1,0-25	1,0-25	0,1-24	0,2-20	0,1-20	0,1-22	0,1-22	0,5-24	0,1-22
4.	6,9	7,6	7,35	7,6	7,55	6,6	7,2	7,05	7,4	7,5
5.	0,36	1,01	1,06	1,08	1,51	4,0	4,7	5,35	6,16	4,8
6.	0,32	0,98	1,04	1,05	1,38	3,0	1,4	4,8	5,15	4,6
7.	22,0	22,0	16,0	17,5	15,5	22,5	7,5	8,5	5,5	24,0
8.	1,5	0,8	0,4	0,35	0,3	3,5	0,3	0,25	0,3	0,85
9.	5,5	9,0	8,0	6,0	6,5	6,0	7,5	8,0	9,0	6,0
10.	3,5	3,0	1,5	1,0	0,8	1,5	0,8	1,2	0,5	5,5
11.	0,05	0,005	0,001	0,001	0,001	0,1	0,01	0,001	0,001	0,9
12.	4,0	3,5	2,0	1,5	1,2	2,5	1,5	1,5	0,75	6,0
13.	0,32	0,98	1,04	1,05	1,38	3,0	1,4	4,0	5,15	4,6
14.	2,5	1,2	1,3	1,5	0,85	0,65	0,55	0,55	1,6	0,55
15.	0,5	0,9	0,1	0,25	0,2	0,8	0,05	0,02	0,05	0,2
16.	0,4	0,2	0,3	0,5	0,6	4,0	6,0	2,0	2,5	6,5
17.	2,0	4,0	2,5	2,5	3,0	6,6	5,5	6,5	6,0	5,5
18.	20,0	61,78	63,5	63,9	84,18	183,0	85,5	292,8	314,0	281,0
19.	1,9	0,9	18,0	18,0	46,7	28,8	214,0	81,0	62,0	26,3
20.	0,6	1,8	7,0	6,0	3,4	28,4	19,0	22,0	24,0	9,12

Продолжение таблицы 2.1

21.	28,7	73,3	122,3	116,6	119,1	232,0	471,0	438,0	480,0	433,0
22.	0,003	0,0025	0,0035	0,008	0,007	0,0075	0,0065	0,007	0,015	0,022
23.	25000	13000	21050	11000	15050	14000	12500	11005	12000	8000
24.	5,0	13,6	14,3	15,7	15,8	64,0	56,0	81,8	92,0	64,0
25.	1,34	4,0	4,2	3,6	8,8	9,7	22,8	16,8	19,0	15,2
26.	0,4	0,96	13,2	2,64	22,56	7,5	40,8	18,27	23,04	14,64

Показ. качест. состава воды	Источники										
	48-й	49-й	50-й	51-й	52-й	53-й	54-й	55-й	56-й	57-й	58-й
1.	450	120	750	350	300	850	60	120	250	250	180
2.	80	50	60	65	55	120	70	60	70	65	45
3.	0,1-22	0,1-22	0,1-22	0,1-22	0,1-22	0,1-20	0,1-18	0,1-18	0,1-20	0,1-22	0,1-22
4.	7,1	8,1	7,05	7,1	7,2	6,9	7,0	7,05	6,5	7,5	7,3
5.	2,3	3,4	1,6	3,5	6,2	2,7	0,5	1,2	5,8	3,52	3,99
6.	2,1	3,2	1,0	2,9	3,8	2,0	0,45	1,1	3,6	2,8	3,85
7.	8,5	8,0	9,5	9,5	8,5	22,0	12,5	11,5	4,76	4,7	7,4
8.	0,25	0,35	0,55	0,8	0,5	1,2	0,55	0,35	1,62	0,5	0,1
9.	7,5	8,0	7,0	6,5	8,0	6,5	6,5	6,5	7,0	6,5	8,0
10.	1,5	2,5	2,0	6,5	1,5	0,8	1,5	1,2	сл.	0,8	0,2
11.	0,01	0,1	0,01	0,008	0,001	0,01	0,01	0,05	сл.	0,0001	0,02

Продолжение таблицы 2.1

12.	1,2	3,5	2,5	7,0	2,0	1,2	1,6	1,5	0,4	0,1	0,1
13.	2,1	3,2	1,0	2,9	3,8	2,0	0,45	1,1	3,6	3,5	3,9
14.	0,4	0,3	0,15	0,55	0,6	0,25	0,1	0,15	0,75	0,8	0,1
15.	0,02	0,025	0,1	0,2	0,1	0,5	0,15	0,10	0,3	0,01	сл.
16.	3,0	21,0	9,0	2,6	9,0	5,5	4,5	5,6	4,5	8,0	6,5
17.	6,0	6,5	6,5	5,5	6,5	5,5	4,5	5,5	6,0	5,5	4,5
18.	121,0	207,0	58,3	176,5	234,2	122,0	27,45	73,2	219,6	170,8	234,85
19.	5,1	20,4	20,5	34,1	107,0	58,6	5,6	8,1	132,0	54,9	28,5
20.	11,7	46,2	8,8	22,0	170,0	56,0	2,0	2,0	20,0	14,2	5,6
21.	147,0	390,0	151,0	276,0	770,0	280,0	95,0	115,0	255,6	284,5	239,0
22.	0,013	0,014	0,015	0,015	0,016	0,007	0,0085	0,009	0,0075	0,0095	0,008
23.	8500	9500	7500	12500	11500	10500	6800	6950	75050	12500	11800
24.	30,2	49,0	23,4	51,0	108,2	48,0	6,0	17,2	80,16	37,7	56,5
25.	9,3	11,5	5,2	11,5	9,7	3,6	2,4	2,9	21,89	19,9	14,2
26.	3,36	36,48	1,92	16,48	108,48	45,6	2,12	3,12	26,64	19,7	14,64

Таблица 2.2

Качественный состав воды водохранилищ

Показатели качественного состава воды	Источники						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
1. Мутность, мг/л	130	160	140	60	50	80	30

Продолжение таблицы 2.2

2. Цветность, градусы	60	110	100	80	50	260	60
3. Запах, балл	-	2/н	2/н	2/н	-	4/н	1/н
4. Привкус, балл	-	2/н	2/н	2/н	-	4/н	1/н
5. Температура, °С	0,2-18	0,3-20	0,1-22	0,1-20	0,2-22	0,1-20	0,1-20
6. Активная реакция, pH	7,5	7,4	7,2	7,6	7,8	7,9	8,05
7. Жесткость общая, мг- экв/л	3,75	3,3	5,5	2,6	6,8	2,1	4,2
8. Жесткость карбон., мг- экв/л	2,1	2,7	3,5	2,05	5,6	1,8	3,6
9. Окисляемость, мг O_2/л	4,6	11,2	27,4	16,8	6,6	36,2	8,5
10. Железо общее, мг/л	0,1	2,0	0,6	0,4	0,8	1,2	0,4
11. Кислород раствор., мг/л	8,0	7,5	7,0	6,2	5,2	5,5	6,5
12. Азот аммонийный, мг/л	0,6	1,5	2,5	1,8	0,8	1,1	0,5
13. Азот нитритный, мг/л	0,005	0,01	0.015	0,003	0,002	0,001	0,0003
14. Азот нитратный, мг/л	0,8	1,8	3,0	2,5	1,2	1,5	0,65
15. Щелочность, мг- экв/л	2,1	2,7	3,5	2,05	5,6	1,8	3,6
16. Фтор, мг/л	0,65	0,8	0,8	0,95	0,75	0,7	0,65
17. Марганец, мг/л	-	0,3	0,05	0,1	0,25	0,5	0,15
18. Кремний, мг/л	2,5	2,0	1,6	3,6	4,0	1,5	2,0
19. Углекислота свободная, мг/л	6,6	7,0	7,5	6,5	8,8	8,0	6,6
20. Углекислота гидрокарб., мг/л	128,1	164,7	214,0	125,05	341,6	109,8	219,6
21. Сульфаты, мг/л	122,4	43,2	186,0	68,5	94,6	32,6	72,5
22. Хлориды, мг/л	24,2	22,0	116,5	22,5	68,5	12,5	31,5
23. Сухой остаток, мг/л	364,0	274,0	610,0	315,0	565,0	195,0	450,0
24. Коли-титр, л	0,01	0,02	0,005	0,04	0,025	0,05	0,06

Продолжение таблицы 2.2

25. Число колоний в 1 мл, шт.	8000	12000	15000	6000	11000	8000	6000
26. Кальций, мг/л	48,0	46,1	50,0	42,0	76,2	25,4	58,8
27. Магний, мг/л	16,2	12,16	36,5	6,1	21,87	10,1	115,32
28. Натрий + калий, мг/л	36.8	18,2	113,0	36,0	64,8	17,28	43,2

Таблица 2.3

Качественный состав воды озер

Показатели качественного состава воды	Источники				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
1. Мутность, мг/л	30	60	10	35	25
2. Цветность, градусы	90	80	100	65	60
3. Запах, балл	2/н	3/н	3/н	1/н	3/н
4. Привкус, балл	2/н	3/н	3/н	1/н	3/н
5. Температура, °С	0,1-18	0,15-17	0,2-16	0,3-20	0,2-25
6. Активная реакция, pH	7,4	7,6	7,5	7,8	7,8
7. Жесткость общая, мг-экв/л	1,15	0,71	0,8	0,41	6,8
8. Жесткость карбонатная, мг-экв/л	0,94	0,66	0,8	0,36	6,3
9. Окисляемость, мг O_2/л	15,4	28,2	22,5	14,5	21,5
10. Железо общее, мг/л	0,3	0,2	0,7	0,5	0,5
11. Кислород растворенный, мг/л	8,0	7,5	7,0	8,5	6,0
12. Азот аммонийный, мг/л	0,2	0,5	0,15	0,7	0,8
13. Азот нитритный, мг/л	0,001	0,003	0,005	0,005	0,003
14. Азот нитратный, мг/л	0,7	1,0	0,3	1,2	1,2
15. Щелочность, мг-экв/л	0,94	0,66	0,8	0,36	6,3

Продолжение таблицы 2.3

16. Фтор, мг/л	0,65	0,9	0,7	0,85	0,85
17. Марганец, мг/л	сл.	0,01	0,1	0,05	0,3
18. Кремний, мг/л	1,5	1,7	2,5	1,6	6,5
19. Углекислота свободная, мг/л	6,6	7,0	3,3	5,6	2,5
20. Углекислота гидрокарбонатная, мг/л	57,2	40,2	48,6	21,96	384,3
21. Сульфаты, мг/л	4,9	2,5	2,8	1,3	16,9
22. Хлориды, мг/л	1,8	7,7	0,8	1,5	62,9
23. Сухой остаток, мг/л	91,4	68	68,43	31,7	662
24. Коли-титр, л	0,002	0,004	0,015	0,01	0,06
25. Число колоний в 1 мл, шт.	1000	5000	3000	1200	1600
26. Кальций, мг/л	15,2	11,1	12,4	5,4	44,1
27. Магний, мг/л	4,74	1,9	2,1	1,6	55,9
28. Натрий + калий, мг/л	1,37	5,25	1,94	0,44	36,78

Показ. качест. состава воды	Источники									
	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й	13-й	14-й	15-й
1.	50	22	15	7,5	45	65	15	25	55	22
2.	120	50	70	35	25	55	45	30	45	150
3.	3/н	1/н	2/н	-	-	2/н	-	-	-	2/н
4.	3/н	1/н	2/н	-	-	2/н	-	-	-	2/н
5.	0,2-18	0,1-20	0,1-16	0,1- 15	0,1- 15	0,3- 24	0,1- 18	0,1- 17	0,2- 19	0,1-15
6.	7,6	7,75	8,05	8,1	7,9	8,15	7,85	7,7	7,95	7,5

Продолжение таблицы 2.3

7.	1,63	1,72	1,98	1,78	2,18	2,39	2,64	7,66	21,9	1,63
8.	1,55	1,65	1,95	1,53	1,28	1,84	2,19	3,23	12,09	1,55
9.	24,2	16,5	21,5	17,5	15,2	23,5	18,5	15,6	12,5	24,2
10.	0,8	0,25	0,15	0,35	0,3	0,45	0,35	0,15	0,3	0,8
11.	5,0	7,0	6,5	8,0	7,5	5,8	6,5	8,5	6,5	5,0
12.	0,2	0,6	0,55	0,25	0,15	0,45	0,35	0,4	0,8	0,25
13.	0,0001	0,0012	0,0003	0,0001	сл.	0,0015	0,0001	0,0001	0,00015	0,002
14.	0,5	0,5	0,65	0,35	0,25	0,65	0,45	0,55	0,75	0,6
15.	1,55	1,65	1,95	1,53	1,28	1,84	2,19	3,23	12,09	1,55
16.	0,6	0,8	0,75	0,65	0,55	0,6	0,85	0,7	0,8	0,6
17.	0,2	0,05	0,01	0,15	0,035	0,07	0,07	0,03	0,1	0,2
18.	4,5	1,6	0,65	0,75	1,25	0,85	1,2	0,8	1,2	4,5
19.	3,3	6,0	5,5	6,5	6,0	7,5	6,5	6,5	7,5	3,3
20.	94,55	100,6	118,95	93,33	78,08	112,24	133,59	197,0	737,5	94,5
21.	4,0	4,3	7,1	16,23	43,1	40,5	31,1	110,0	247,0	4,0
22.	5,2	4,2	2,72	2,61	8,77	10,79	10,83	45,2	138,0	5,2
23.	162,6	145,0	107,3	95,5	157,0	142,6	138,23	481,4	2843,4	162,6
24.	0,009	0,005	0,06	0,05	0,04	0,008	0,15	0,1	0,15	0,008
25.	1000	6500	7500	1500	2500	3000	800	500	1200	1000
26.	23,9	29,1	26,2	24,1	31,2	42,3	41,1	45,3	205,0	23,9
27.	5,20	3,3	8,26	7,03	7,65	3,39	7,2	65,7	142,0	5,2
28.	3,6	1,44	2,27	3,84	5,76	14,16	12,0	29,52	40,56	3,6

Раздел второй. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ. НОРМЫ И ОБЪЕМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Глава 3. Назначение систем водоснабжения и их классификация

3.1. Назначение систем водоснабжения

Система водоснабжения, или водопровода, представляет собой комплекс инженерных сооружений, предназначенных для забора воды из природных источников, улучшения ее качества, транспортирования, хранения и подачи потребителям.

Системы водоснабжения имеют важное значение, поскольку: удовлетворяются потребности населения в доброкачественной воде; улучшаются культурно-бытовые условия жизни; значительно снижаются инфекционные заболевания, передаваемые через воду; улучшается качество и снижается себестоимость промышленной продукции; сохраняются материальные ценности от пожаров.

3.2. Классификация систем водоснабжения

Системы водоснабжения могут быть следующих типов:

по виду водоисточника – с использованием поверхностных вод; с использованием подземных вод; смешанные; **по способу подъема воды** – нагнетательные; гравитационные (самотечные); комбинированные; **по назначению** – хозяйственно-питьевые; производственные; противопожарные; объединенные; **по видам обслуживаемых объектов** – городские; поселковые; промышленные; железнодорожные и др.; **по территориальному охвату водопотребителей** – местные (локальные); централизованные, обеспечивающие водой всех водопотребителей, расположенных в населенном пункте; групповые, или районные, служащие для обеспечения водой нескольких населенных пунктов в большом районе; **по характеру использования воды** – прямоточные; с повторным использованием воды; оборотные.

3.3. Централизованная система водоснабжения

Централизованная система водоснабжения населенных пунктов в зависимости от местных условий и принятой схемы водоснабжения должна обеспечивать: хозяйственно-питьевое водопотребление в жилых и общественных зданиях, нужды коммунально-бытовых предприятий; хозяйственно-питьевое водопотребление на предприятиях; производственные нужды промышленных и сельскохозяйственных предприятий, где требуется вода питьевого качества или для которых экономически нецелесообразно сооружение отдельного водопровода; тушение пожаров; собственные нужды

станций водоподготовки, промывку водопроводных и канализационных сетей и т.п.

Централизованные системы водоснабжения по степени обеспеченности подачи воды подразделяются на три категории:

I – допускается снижение подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды не более 30% расчетного расхода и на производственные нужды до предела, устанавливаемого аварийным графиком работы предприятий; длительность снижения подачи не должна превышать 3 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускаются на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы (оборудования, арматуры, сооружений, трубопроводов и др.), но не более чем на 10 мин;

II – величина допускаемого снижения подачи воды та же, что при первой категории; длительность снижения подачи не должна превышать 10 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов или проведения ремонта, но не более чем на 6 ч;

III - величина допускаемого снижения подачи воды та же, что при первой категории; длительность снижения подачи не должна превышать 15 сут. Перерыв в подаче воды или снижение подачи ниже указанного предела допускается на время проведения ремонта, но не более чем на 24 ч.

Объединенные хозяйственно-питьевые и производственные водопроводы населенных пунктов при числе жителей в них более 50 тыс. чел. следует относить к I категории; от 5 до 50 тыс. чел. – ко II категории; менее 5 тыс. чел. – к III категории [2].

Глава 4. Нормы и объемы водопотребления

4.1. Выбор норм водопотребления

Хозяйственно-питьевое водопотребление. Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления в населенных пунктах принимают по [2] и табл. 4.1.

Таблица 4.1

Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления для населенных пунктов

Степень санитарно-технического благоустройства районов жилой застройки	Среднесуточное удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в населенных пунктах на одного жителя (за год), л/сут
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией:	
без ванн	125-160
с ванными и местными водонагревателями	160-230
с централизованным горячим водоснабжением	230-350
водопользование из водоразборных колонок	30-50

Удельное водопотребление включает расходы воды на хозяйственно-питьевые и бытовые нужды в общественных зданиях, за исключением расходов воды для домов отдыха, санаторно-туристических комплексов и оздоровительных лагерей. Выбор удельного водопотребления в пределах, указанных в табл. 4.1, должен производиться в зависимости от климатических условий, мощности источника водоснабжения и качества воды, степени благоустройства, этажности застройки и местных условий.

Количество воды на нужды промышленности, обеспечивающей население продуктами, и неучтенные расходы при соответствующем обосновании допускается принимать дополнительно в размере 10-20% суммарного расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды населенного пункта.

Водопотребление промышленных предприятий. На промышленных предприятиях вода расходуется на технологические нужды производства, хозяйственно-питьевые нужды работающих, а также на пользование душем. Нормы водопотребления на технологические нужды зависят от вида выпускаемой продукции, принятого технологического процесса, вида системы водоснабжения, качества воды и др.

Средние объемы водопотребления определяют по видам используемой воды (оборотная, свежая из источника, питьевая) путем умножения соответствующих удельных ее расходов на производительность технологического процесса в принятых единицах величин (1 т, 1000 кВт, $м^2$ и т.д.) [3].

В соответствии с [4] нормы водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды работников промышленных предприятий принимают равными: для работающих в цехах с тепловыделением более 84 кДж на 1 $м^3/ч$

(горячие цеха) $q_r = 45$ л в смену на одного человека; для остальных цехов $q_x = 25$ л.

Расход воды на пользование душем принимается исходя из часового расхода воды на одну душевую сетку 500 л при продолжительности пользования душем 45 мин.

Водопотребление на благоустройство территорий городов и промышленных площадок. Нормы водопотребления на поливку зеленых насаждений, а также мытье улиц населенных пунктов и территорий промышленных предприятий принимают по [2] в зависимости от типа покрытия территории, способа ее поливки, вида насаждений (табл. 4.2), зависящих от климатических и других местных условий.

Таблица 4.2

Нормы водопотребления на благоустройство территорий населенных пунктов и промышленных предприятий

Назначение воды	Измеритель	Расход воды, л/м^2
Механизированная мойка усовершенствованных покрытий проездов и площадей	1 мойка	1,2-1,5
Механизированная поливка усовершенствованных покрытий проездов и площадей	1 поливка	0,3-0,4
Поливка вручную (из шлангов) усовершенствованных покрытий тротуаров и проездов	-//-	0,4-0,5
Поливка городских зеленых насаждений	-//-	3,0-4,0
Поливка газонов и цветников	-//-	4,0-6,0
Поливка посадок в грунтовых зимних теплицах	1 сутки	15,0
Поливка посадок в стеллажных зимних и грунтовых весенних теплицах, парниках всех типов, утепленном грунте	-//-	6,0
Поливка посадок на приусадебных участках:		
овощных культур	-//-	3,0-15,0
плодовых деревьев	-//-	10,0-15,0

Использование воды для пожаротушения. Расход воды на наружное пожаротушение (на один пожар) и количество одновременных пожаров в населенном пункте следует принимать по табл. 4.3.

Таблица 4.3

Нормы водопотребления на наружное пожаротушение в населенных пунктах

Число жителей в населенном пункте, тыс. чел.	Расчетное количество одновременных пожаров	Расход воды на наружное пожаротушение в населенном пункте на один пожар, л/с	
		застройка зданиями высотой до двух этажей включительно независимо от степени их огнестойкости	застройка зданиями высотой три этажа и выше независимо от степени их огнестойкости
До 1	1	5	10
Св. 1 -//- 5	1	10	10
-//- 5 -//- 10	1	10	15
-//- 10 -//- 25	2	10	15
-//- 25 -//- 50	2	20	25
-//- 50 -//- 100	2	25	35
-//- 100 -//- 200	3	-	40
-//- 200 -//- 300	3	-	55
-//- 300 -//- 400	3	-	70
-//- 400 -//- 500	3	-	80
-//- 500 -//- 600	3	-	85
-//- 600 -//- 700	3	-	90
-//- 700 -//- 800	3	-	95
-//- 800 -//- 1000	3	-	100

Расход воды на наружное пожаротушение жилых и общественных зданий следует принимать для здания, требующего наибольшего расхода воды, по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Нормы водопотребления на наружное пожаротушение жилых и общественных зданий

Назначение зданий	Расход воды на один пожар, л/с, на наружное пожаротушение жилых и общественных зданий независимо от их степени огнестойкости при объемах зданий, тыс. м^3				
	до 1	св. 1 до 5	св. 5 до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 150
Жилые здания односекционные и многосекционные при количестве этажей:					
до 2	10*	10	-	-	-
св. 2 до 12	10	15	15	20	-
св. 12 до 16	-	-	20	25	-
св. 16 до 25	-	-	-	25	30

Продолжение таблицы 4.4

Общественные здания при количестве этажей:	10*	10	15	-	-
до 2	10	15	20	25	30
св. 2 до 6	-	-	25	30	35
св. 6 до12	-	-	-	30	35
св. 12 до16					

* Для сельских населенных пунктов расход воды на один пожар 5 л/с.

Расход воды на один пожар для наружного пожаротушения на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях должен приниматься для здания, требующего наибольшего расхода воды, согласно табл. 4.5 и 4.6. Расчетное количество пожаров при этом зависит от занимаемой ими площади: один пожар – при площади до 150 га, два пожара – более 150 га.

Расчетную продолжительность тушения пожара принимают 3 ч; для зданий I и II степени огнестойкости с несгораемыми несущими конструкциями и утеплителем с производствами категории Г и Д – 2 ч.

Таблица 4.5

Нормы водопотребления на наружное пожаротушение производственных зданий шириной до 60 м

Степень огнестойкости здания	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды на наружное пожаротушение производственных зданий с фонарями, а также без фонарей шириной до 60 м на один пожар, л/с, при объемах зданий, тыс. $м^3$						
		до 3	св. 3 до 5	св. 5 до 20	св. 20 до 50	св. 50 до 200	св. 200 до 400	св. 400 до 600
I и II	Г, Д, Е	10	10	10	10	15	20	25
I и II	А, Б, В	10	10	15	20	30	35	40
III	Г, Д	10	10	15	25	35	-	-
III	В	10	15	20	30	40	-	-
IV и V	Г, Д	10	15	20	30	-	-	-
IV и V	В	15	20	25	40	-	-	-

Таблица 4.6

Нормы водопотребления на наружное пожаротушение производственных зданий шириной 60 м и более

Степень огнестойкости здания	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды на наружное пожаротушение производственных зданий с фонарями, а также без фонарей шириной 60 м и более на один пожар, л/с, при объемах зданий, тыс. $м^3$								
		до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	св. 200 до 300	св. 300 до 400	св. 400 до 500	св. 500 до 600	св. 600 до 700	св. 700 до 800

Продолжение таблицы 4.6

I и II	А, Б, В	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I и II	Г, Д, Е	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Собственные нужды водопровода. Систему водоснабжения следует рассматривать как промышленное предприятие, потребляющее воду на хозяйственно-бытовые нужды работников, в технологических процессах и для пожаротушения. Наиболее крупным потребителем воды, используемой на собственные нужды в системе водоснабжения, являются очистные сооружения. Согласно [2] ориентировочно среднесуточные (за год) расходы воды на собственные нужды станций осветления и обезжелезивания 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 следует уточнять расчетами.

4.2. Расчет объемов водопотребления

Среднесуточный (за год) объем водопотребления **на хозяйственно-питьевые нужды** определяют по формуле:

$$Q_{сут\ т.} = \sum_i q_{жi} N_i / 1000, \text{ м}^3/\text{сут}, \qquad (4.1)$$

где $q_{жi}$ – норма удельного водопотребления, л/(сут·чел), соответствующая i – й степени санитарно-технического благоустройства жилых зданий и принимаемая по табл. 4.1; N_i – расчетное число жителей, проживающих в районах жилой застройки с i – й степенью благоустройства, на конец рассматриваемой очереди строительства.

Расчетное число жителей может быть определено по формуле:

$$N_i = \sum_i p_j F_{ij}, \text{ чел}, \qquad (4.2)$$

где p_j – j-я плотность населения, чел/га; F_{ij} – площадь района жилой застройки с i – степенью санитарно-технического благоустройства зданий и j-й плотностью населения, га.

Системы водоснабжения должны быть запроектированы на пропуск максимального суточного расхода воды, равного

$$Q_{\text{сут max}} = K_{\text{сут max}} Q_{\text{сут } m}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4.3)$$

где $K_{\text{сут max}} = 1{,}1 - 1{,}3$ - максимальный коэффициент суточной неравномерности водопотребления, учитывающий уклад жизни населения, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий, изменение водопотребления по сезонам года и дням недели; $Q_{\text{сут } m}$ - расчетный (средний за год) суточный расход воды, м^3/сут, определяемый по формуле 4.1.

В отдельных случаях требуется проверка работы системы водоснабжения при минимальном суточном расходе воды, определяемом по формуле:

$$Q_{\text{сут min}} = K_{\text{сут min}} Q_{\text{сут } m}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4.4)$$

где $K_{\text{сут min}} = 0{,}7\text{-}0{,}9$ - минимальный коэффициент суточной неравномерности водопотребления.

Объем водопотребления на предприятии **в смену** определяют по формуле:

$$Q_{\text{х/п}} = q_{\text{г}} n_{\text{г}} + q_{\text{х}} n_{\text{х}}, \text{ м}^3/\text{см}, \quad (4.5)$$

где $n_{\text{г}}$, $n_{\text{х}}$ - число работающих соответственно в цехах с тепловыделением более 84 кДж на 1 м^3/ч и в остальных цехах для рассматриваемой смены.

Расход воды **на принятие душа** после окончания смены определяют по формуле:

$$Q_{\text{душ}} = 0{,}375 N_{\text{душ}} / a, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.6)$$

где $N_{\text{душ}}$ - число пользующихся душем в данную смену; a - количество человек, приходящихся на одну душевую сетку.

Определение **общего противопожарного расхода воды** в населенном пункте осуществляется в зависимости от месторасположения промышленных или сельскохозяйственных предприятий. Если предприятие находится в черте города, в расчетное количество одновременных пожаров (табл. 4.3.) включены и пожары этого предприятия. При этом в расчетный расход воды

следует включать соответствующие расходы воды на пожаротушение на этих предприятиях, если они больше указанных в табл. 4.3.

При расположении предприятия вне населенного пункта расчетное количество одновременных пожаров должно приниматься: при площади территории предприятия до 150 га и числе жителей в населенном пункте до 10 тыс. человек - один пожар (на предприятии или в населенном пункте по наибольшему расходу воды); то же, при числе жителей в населенном пункте свыше 10 до 25 тыс. человек - два пожара (один на предприятии и один в населенном пункте); при площади территории свыше 150 га и при числе жителей населенном пункте до 25 тыс. человек - два пожара (два на предприятии или два в населенном пункте по наибольшему расходу).

При числе жителей в населенном пункте более 25 тыс. человек расход воды следует определять как сумму потребного большего расхода (на предприятии или в населенном пункте) и 50 % потребного меньшего расхода (на предприятии или в населенном пункте).

Во всех случаях расход воды на наружное пожаротушение в населенном пункте должен быть не менее расхода воды на пожаротушение жилых и общественных зданий, указанных в табл. 4.4.

Суточный объем водопотребления **на поливку улиц и зеленых насаждений** определяют по формуле:

$$Q_{\text{пол}} = q_{\text{пол}} F\alpha / 100, \text{ м}^3/\text{сут}, \qquad (4.7)$$

где $q_{\text{пол}}$ - расход воды на поливку, л/м^2, принимаемый по табл. 4.2; F - площадь территории населенного пункта «брутто» (с учетом улиц, площадей и т.д.), м^2; α - доля поливаемой территории населенного пункта, %.

При отсутствии данных о площадях по видам благоустройства (зеленые насаждения, проезды и т.п.) среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на поливку может быть определено по формуле:

$$Q_{\text{пол}} = q_{\text{ж.п}} N, \text{ м}^3/\text{сут}, \qquad (4.8)$$

где $q_{\text{ж.п}}$ - удельная норма водопотребления на поливку в расчете на одного жителя населенного пункта, принимаемая равной 50-90 л/сут на человека в зависимости от климатических условий, мощности, источника водоснабжения, степени благоустройства населенного пункта и других местных условий; N - расчетное число жителей в населенном пункте.

Объем водопотребления **на собственные нужды системы водоснабжения** влияет на расчетную производительность очистных сооружений и его определяют по формуле:

$$Q = \alpha Q^{общ}_{сут\ max}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4.9)$$

где $Q^{общ}_{сут\,max}$ - максимальный суточный расход воды, м^3/сут; α - коэффициент, учитывающий собственные нужды очистных сооружений.

Суммарный суточный расход воды для централизованной системы водоснабжения, обслуживающей все перечисленные группы потребителей определяется по формулам:
- среднесуточный расход воды

$$Q^{общ}_{сут\ m} = Q_{сут\ m} + (Q_{тех} + Q_{х/п} + Q_{душ}) + Q_{пол} + Q_{м.п}, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (4.10)$$

- максимальный суточный расход воды

$$Q^{общ}_{сут\ max} = Q_{сут.max} + (Q_{тех} + Q_{х/п} + Q_{душ}) + Q_{пол} + Q_{м.п}, \text{м}^3/\text{сут}, \quad (4.11)$$

где $Q_{тех}$ – суточный расход на технологические нужды промышленных предприятий; $Q_{м.п}$ – суточный расход на нужды предприятий местной промышленности.

Раздел третий. **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ ВОДОПОДГОТОВКИ**

Глава 5. Методы и технологические схемы улучшения качества природных вод

5.1. Требования к качеству воды хозяйственно-питьевого назначения

Питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства [5].

Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, приведенным в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Микробиологические и паразитологические показатели

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Нормативы
1	Термотолерантные колиформные бактерии	число бактерий в 100 мл	отсутствие
2	Общие колиформные бактерии	-//-	-//-
3	Общее микробное число	число образующих колонии бактерий в 1 мл	не более 50
4	Колифаги	число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	отсутствие
5	Споры сульфитредуцирующих клостридий	число спор в 20 мл	-//-
6	Цисты лямблий	число цист в 50 л	отсутствие

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам:

а) по обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение (табл. 5.2);

б) по содержанию вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения (табл. 5.3);

в) по содержанию вредных химических веществ, поступающих в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека.

Таблица 5.2

Обобщенные и химические показатели

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), не более)	Показатель вредности	Класс опасности
	Обобщенные показатели				
1	Водородный показатель	единицы pH	в пределах 6 - 9		
2	Общая минерализация (сухой остаток)	мг/л	1000 (1500)		
3	Жесткость общая	мг-экв/л	7,0 (10)		
4	Окисляемость перманганатная	мг/л	5,0		
5	Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1		
6	Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/л	0,5		
7	Фенольный индекс	мг/л	0,25		
	Неорганические вещества				
1	Алюминий (Al^{3+})	мг/л	0,5	с.-т.	2
2	Барий (Ba^{2+})	-//-	0,1	-//-	2
3	Бериллий (Be^{2+})	-//-	0,0002	-//-	1
4	Бор (B, суммарно)	-//-	0,5	-//-	2
5	Железо (Fe, суммарно)	-//-	0,3 (1,0)	орг.	3
6	Кадмий (Cd, суммарно)	-//-	0,001	с.-т.	2
7	Марганец (Mn, суммарно)	-//-	0,1 (0,5)	орг.	3
8	Медь (Cu, суммарно)	-//-	1,0	-//-	3
9	Молибден (Mo, суммарно)	-//-	0,25	с.-т.	2
10	Мышьяк (As, суммарно)	-//-	0,05	-//-	2
11	Никель (Ni, суммарно)	-//-	0,1	-//-	3
12	Нитраты (по NO_3)	-//-	45	орг.	3
13	Ртуть (Hg, суммарно)	-//-	0,0005	с.-т.	1
14	Свинец (Pb, суммарно)	-//-	0,03	-//-	2
15	Селен (Se, суммарно)	-//-	0,01	-//-	2
16	Стронций (Sr^{2+})	-//-	7,0	-//-	2
17	Сульфаты (SO_4^{2-})	-//-	500	орг.	4
18	Фториды (F^-)	-//-			
	для климатических районов:				
	I и II	-//-	1,5	с.-т.	2
	III	-//-	1,2	-//-	2

Продолжение таблицы 5.2

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), не более)	Показатель вредности	Класс опасности
19	Хлориды (Cl^-)	-//-	350	орг.	4
20	Хром (Cr^{6+})	-//-	0,05	с.-т.	3
21	Цианиды (CN^-)	-//-	0,035	-//-	2
22	Цинк (Zn^{2+})	мг/л	5,0	орг.	3
Органические вещества					
1	γ-ГХЦГ (линдан)	мг/л	0,002	с.-т.	1
2	ДДТ (сумма изомеров)	-//-	0,002	-//-	2
3	2,4 – Д	мг/л	0,03	с.-т.	2

Таблица 5.3

Показатели вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе обработки

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), не более)	Показатель вредности	Класс опасности
1	Хлор:				
	остаточный свободный	мг/л	в пределах 0,3 - 0,5	орг.	3
	остаточный связанный	-//-	в пределах 0,8 - 1,2	-//-	3
2	Хлороформ (при хлорировании воды)	-//-	0,2	с.-т.	2
3	Озон остаточный	-//-	0,3	орг.	
4	Формальдегид (при озонировании воды)	-//-	0,05	с.-т.	2
5	Полиакриламид	-//-	2,0	-//-	2
6	Активированная кремнекислота (по Si)	-//-	10	-//-	2
7	Полифосфаты (по PO_4^{3-})	мг/л	3,5	орг.	3
8	Остаточные количества алюминий- и железосодержащих коагулянтов	мг/л	Al, Fe (см. табл. 5.2)		

При обнаружении в питьевой воде нескольких химических веществ, относящихся к 1-м и 2-м классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из них в воде к величине его ПДК не должна быть больше 1. Расчет ведется по выражению:

$$\frac{C^1_{\text{факт}}}{C^1_{\text{доп}}} + \frac{C^2_{\text{факт}}}{C^2_{\text{доп}}} + ... + \frac{C^n_{\text{факт}}}{C^n_{\text{доп}}} \le 1, \qquad (5.1)$$

где C^1, C^2, C^n – концентрации индивидуальных химических веществ 1-го и 2-го класса опасности: факт. (фактическая) и доп. (допустимая).

Благоприятные органолептические свойства воды определяются ее соответствием нормативам, указанным в табл. 5.4, а также нормативам содержания веществ, оказывающих влияние на органолептические свойства воды, приведенные в табл. 5.2 и 5.3.

Таблица 5.4

Органолептические показатели

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Нормативы, не более
1	Запах	баллы	2
2	Привкус	-//-	2
3	Цветность	град.	20 (35)
4	Мутность	ЕМФ (единицы мутности по формазину)	2,6 (3,5)
		или мг/л (по каолину)	1,5 (2)

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей α- и β-активности, представленным в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Радиационные показатели

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), не более)	Показатель вредности
1	Общая α-радиоактивность	Бк/л	0,1	радиац.
2	Общая β-радиоактивность	Бк/л	1,0	радиац.

5.2. Выбор методов обработки природных вод

В практике водоподготовки используются различные технологические приемы и методы улучшения качества воды. Выбор рациональной схемы обработки воды представляет определенные трудности из-за сложности

состава природных вод, изменения состава воды водоема в результате деятельности человека, высоких требований к качеству очистки воды и т.д. Характер обработки воды на водопроводных станциях зависит от качества воды источника водоснабжения и требований к ее качеству. В табл. 5.6 приводятся основные способы химической обработки воды в зависимости от ее исходного качества.

При подготовке воды на хозяйственно-питьевые нужды применяются реагенты, разрешенные Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Минздрава России.

Таблица 5.6

Основные способы химической обработки воды

Показатели качества воды	Способы химической обработки	Применяемые реагенты
Мутность	Коагулирование. Обработка флокулянтами	Коагулянты (сернокислый глинозем, хлорное железо и др.). Флокулянты (полиакриламид, активная кремниевая кислота и др.)
Цветность, повышенное содержание органических веществ и планктона	Предварительное хлорирование, коагулирование. Обработка флокулянтами. Озонирование	Хлор. Коагулянты. Флокулянты. Озон
Низкая щелочность, затрудняющая коагулирование	Подщелачивание	Известь. Сода
Привкусы и запахи	Углевание. Предварительное хлорирование. Предварительное хлорирование с преаммонизацией. Обработка перманганатом калия. Озонирование	Активный уголь. Жидкий хлор. Перманганат калия. Аммиак. Озон
Нестабильная вода с отрицательным индексом насыщения (коррозионная)	Подщелачивание. Фосфатирование	Известь. Сода. Гексаметафосфат или триполифосфат натрия
Нестабильная вода с положительным индексом насыщения	Подкисление. Фосфатирование	Кислоты (серная, соляная). Гексаметафосфат или триполифосфат натрия
Бактериальные загрязнения	Хлорирование. Озонирование	Хлор. Гипохлориты. Озон. Аммиак

Продолжение таблицы 5.6

Показатели качества воды	Способы химической обработки	Применяемые реагенты
Недостаток фтора (менее 0,5 мг/л)	Фторирование	Фтористый или кремнефтористый натрий. Кремнефтористый аммоний. Кремнефтористоводородная кислота
Избыток фтора (более 1,5 мг/л)	Обесфторивание	Сернокислый глинозем
Избыток железа	Аэрация. Хлорирование. Подщелачивание. Коагулирование. Обработка перманганатом калия. Катионирование	Хлор. Известь. Сода. Коагулянты. Перманганат калия
Избыток солей жесткости	Декарбонизация. Известково-содовое умягчение. Ионный обмен	Известь. Сода. Коагулянты (хлорное железо или железный купорос). Поваренная соль. Серная кислота
Общее солесодержание выше нормы	Ионный обмен. Электродиализ. Дистилляция, гиперфильтрация и др.	Серная кислота. Сода. Едкий натр. Известь
Содержание кремнекислоты выше нормы	Коагулирование. Магнезиальное обескремнивание. Ионный обмен	Коагулянты. Каустический магнезит. Известь
Наличие сероводорода	Подкисление. Аэрация. Хлорирование. Коагулирование	Хлор. Коагулянты. Кислоты
Избыточный растворенный кислород	Связывание кислорода восстановителями	Сульфат или тиосульфат натрия. Сернистый газ.

5.3. Технологические схемы, применяемые при обработке воды

Схема очистных сооружений водопровода представляет собой технологически связанный комплекс, который решается на основании принятого метода обработки воды (табл. 5.6) и технико-экономических сравнений возможных вариантов.

По принципу перемещения масс воды в очистных сооружениях различают самотечные и напорные системы. В самотечных системах поступающая на обработку вода протекает в них самотеком вследствие разницы гидростатических уровней как в различных частях сооружений, так и между отдельными сооружениями. В напорных системах используются сооруже-

ния закрытого типа, в которых вода циркулирует под давлением, создаваемым насосной станцией. В практике водоочистки наибольшее распространение получили схемы очистных сооружений с самотечным движением воды.

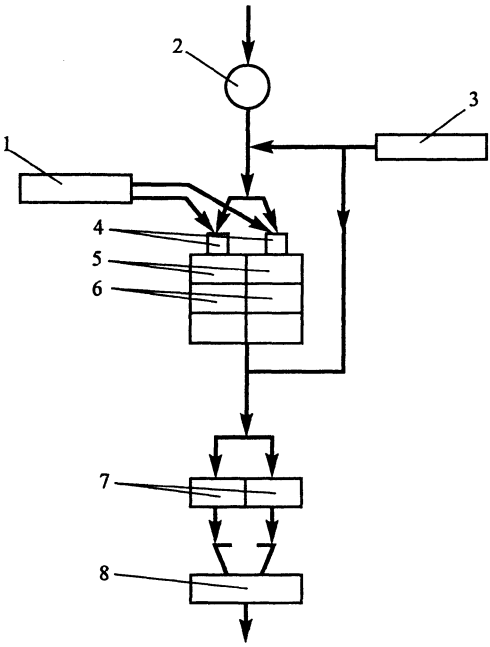


Рис. 5.1. Схема компоновки очистных сооружений (одноступенчатая):
1- реагентное хозяйство; 2 - насосная станция первого подъема; 3 - хлораторная; 4 - смесители; 5 - контактная камера; 6- контактные осветлители (КО); 7 - резервуары чистой воды (РЧВ); 8 - насосная станция второго подъема

В зависимости от качества воды источника очистные станции водопроводов населенных мест осуществляют очистку воды по одноступенчатым или двухступенчатым схемам. При одноступенчатой схеме очистки воды ее осветление производится на фильтрах или в контактных осветлителях (КО). На рис. 5.1 приведена одноступенчатая схема очистки воды, а на рис. 5.2 в качестве примера показано взаимное расположение отдельных сооружений станции осветления и обеззараживания воды для целей хозяйственно-питьевого назначения, осуществленное по двухступенчатой схеме с использованием хлора [6].

Приведенные схемы следует рассматривать как общие принципиальные схемы очистных сооружений из поверхностных источников. В отдельных случаях они могут быть дополнены устройствами для устранения запахов и привкусов воды, для ее умягчения, обезжелезивания, фторирования, обесфторивания, опреснения, дегазации, дезактивации и др.

В настоящее время большое распространение получил озон, который является одним из наиболее сильных окислителей, уничтожающих бактерии, споры и вирусы (в частности, вирусы полиомиелита). При использовании озона одновременно с обеззараживанием происходит обесцвечивание воды и дезодорация.

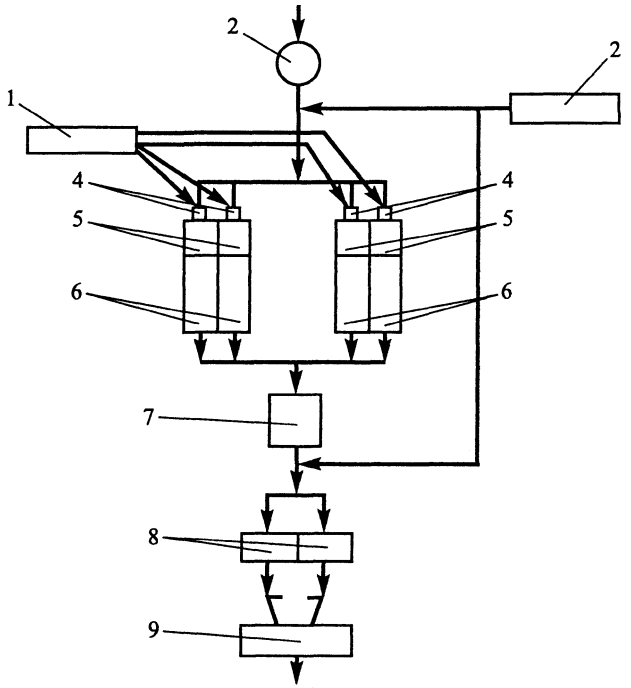


Рис. 5.2. Схема компоновки очистных сооружений (двухступенчатая):
1 - реагентное хозяйство; 2 - насосная станция первого подъема; 3- хлораторная; 4 - смесители; 5 - камеры хлопьеобразования; 6 - горизонтальные отстойники; 7 - скорые фильтры; 8 - резервуары чистой воды (РЧВ); 9 - насосная станция второго подъема

5.4. Выбор состава водоочистных сооружений

Сравнивая показатели качества воды природных источников (гл. 2, табл. 2.1- 2.3) с требованиями потребителя (п. 5.1), выбирают методы обработки воды (п. 5.2). При подготовке питьевой воды, в случае если забор ее производится из открытых водоемов, применяют следующие основные технологические операции: осветление - удаление взвешенных веществ: обесцвечивание - устранение веществ, обусловливающих цветность воды; обеззараживание - уничтожение содержащихся в воде бактерий. Сооружения для коагулирования и осветления воды одновременно осуществляют и обесцвечивание воды. Хлорирование воды производится дважды: перед

смесителем (первичное хлорирование) и после фильтров (вторичное хлорирование). Состав основных сооружений водоочистной станции для осветления и обесцвечивания выбирается в зависимости от качества исходной воды, назначения водопровода, а также производительности станции и местных условий - табл. 5.7 [2].

Таблица 5.7

Основные сооружения и способы обработки воды

Основные сооружения	Условия применения:				
	мутность, мг/л		цветность, град.		производительность станции, $м^3$/сут
	исходная вода	очищенная вода	исходная вода	очищенная вода	
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов					
1. Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование) :					
а) напорные фильтры	до 30	до 1,5	до 50	до 20	до 5000
б) открытые фильтры	до 20	до 1,5	до 50	до 20	до 50000
2. Вертикальные отстойники - скорые фильтры	до 1500	до 1,5	до 120	до 20	до 5000
3. Горизонтальные отстойники - скорые фильтры	до 1500	до 1,5	до 120	до 20	св. 30000
4. Контактные префильтры - скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	до 300	до 1,5	до 120	до 20	любая
5. Осветлители со взвешенным осадком – скорые фильтры	не менее 50 до 1500	до 1,5	до 120	до 20	св. 5000
6. Две ступени отстойников – скорые фильтры	более 1500	до 1,5	до 120	до 20	любая
7. Контактные осветлители	до 120	до 1,5	до 120	до 20	-//-
8. Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком для частичного осветления воды	до 1500	8-15	до 120	до 40	-//-

Продолжение таблицы 5.7

9. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	до 80	до 10	до 120	до 30	-//-
10. Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	св. 1500	до 250	до 120	до 20	-//-
11. Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовления (типа «Струя»)	до 1000	до 1,5	до 120	до 20	до 800
Обработка воды без применения коагулянтов и флокулянтов					
12. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	до 150	30-50% исходной	до 120	такая же, как исходная	любая
13. Радиальные отстойники для частичного осветления воды	более 1500	30-50% исходной	до 120	то же	любая
14. Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка	до 1500	1,5	до 50	до 20	любая

Примечания:

1. Мутность указана суммарная, включая образующуюся от введения реагентов.
2. На водозаборных сооружениях или на станции водоподготовки необходимо предусматривать установку сеток с ячейками размером 0,5 - 2 мм. При среднемесячном содержании в воде планктона более 1000 кл/мл и продолжительности «цветения» более одного месяца в году в дополнение к сеткам следует предусматривать установку микрофильтров на водозаборе или на станции водоподготовки.
3. При обосновании для обработки воды допускается применять сооружения, не указанные в табл. 5.7 (плавучие водозаборы - осветлители, гидроциклоны, флотационные установки и др.).
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 ± 1°С в 1 ч.

Комплекс очистных сооружений проектируется на максимальный суточный расход воды, определенный по формулам (раздел 2, гл. 4, п. 4.2.). Проект систем водоснабжения разрабатывается с учетом перспективного развития: первая очередь строительства водопровода должна удовлетворять нужды водопотребителей через 5-10 лет; вторая очередь – на перспективу

15-20 лет. Для подготовки воды питьевого качества могут быть приняты методы, по которым получены гигиенические заключения. Очистные сооружения рассчитывают на равномерную подачу воды в течение суток, при возможности отключения отдельных сооружений для профилактического осмотра, чистки, текущего и капитального ремонтов. Для станций производительностью до 5000 м/сут допускается предусматривать работу в течение части суток. Сооружения станции водоподготовки оборудуются приборами и устройствами для определения основных параметров работы.

Коммуникации станций водоподготовки надлежит рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 20 - 30% больше расчетного, руководствуясь соображениями интенсификации на перспективу или реконструкции сооружений водопровода.

Глава 6. Расчет и компоновка реагентного хозяйства

6.1. Назначение и виды применяемых реагентов

Естественная скорость осаждения коллоидных частиц в воде очень мала, поэтому требуется агломерация коллоидных примесей с образованием относительно крупных частиц. Изменение суспензии является результатом двух процессов: 1) дестабилизации, которая достигается введением реагентов, снимающих действие сил отталкивания; 2) агломерации «нейтрализованных» коллоидов. Термин «коагуляция» принято относить к процессам дестабилизации, а термин «флокуляция» – к агломерации нейтральных коллоидов. Соответствующие реагенты в практике водоподготовки называют коагулянтами и флокулянтами.

Коагулянты

Использование неорганических коагулянтов известно с конца XIX века. Было установлено, что при высокой валентности более эффективно коагулирующее действие. Этим объясняется широкое применение трехвалентных солей железа и алюминия в практике водоподготовки. Однако эти коагулянты имеют ряд недостатков: 1) гидролизуясь, они вызывают нежелательные изменения физико-химических характеристик обрабатываемой воды; 2) изменяют pH воды; 3) изменяют электропроводность воды; 4) использование больших доз коагулянта ведет к образованию избыточных количеств осадка; 5) не всегда образуется осадок, обладающий характеристиками, необходимыми для его эффективного осаждения.

Применяют коагулянты не только неорганические, но и органические (альгинаты, крахмал и синтетические – полиэлектролиты). По экономическим соображениям широко используются сульфат алюминия и хлорное железо. Коагулирующее действие этих веществ наблюдается вслед за растворением, но не приводит сразу к образованию гидроксидов, а образуя, например, промежуточные соединения - гидроксиалюминиевые комплексы, обусловливает изменения, необходимые для нейтрализации коллоидов, а также полимеризацию, т.е. образование мостиков между коллоидами, инициируя процессы флокуляции [7].

Сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

Этот коагулянт наиболее часто применяется для осветления и обесцвечивания воды. Сырьем для его получения служат бокситы, глины и серная кислота. **Очищенный сернокислый алюминий** выпускается трех сортов: высший, 1-й и 2-й. Качество продукта характеризуется показателями, приведенными в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Характеристика очищенного сернокислого алюминия

Определяемый показатель, %	Нормы для сорта, %		
	высшего	1-го	2-го
Al_2O_3, не менее	16,3	15,0	14,0
H_2S0_4 свободная, не более	0	0,05	0,1
Fe (в пересчете на Fe_2O_3), не более	0,002	0,04	0,7
As (в пересчете на As_2O_3), не более	0,001	0,003	0,003
Нерастворимый в воде остаток, не более	0,3	0,5	0,7

Коагулянт поступает на станцию навалом в закрытых железнодорожных вагонах.

Неочищенный сернокислый алюминий

Он выпускается двух сортов – А и Б. Качество продукта характеризуется показателями, приведенными в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Характеристика неочищенного сернокислого алюминия

Определяемый показатель, %	Нормы для сорта, %	
	А	Б
Al_2O_3, не менее	9,5	9,5
H_2SO_4 свободная, не более	2,0	3,0
Fe (в пересчете на Fe_2O_3), не более	0,5	0,9
As (в пересчете на As_2O_3), не более	0,003	0,003
Нерастворимый в воде остаток по отношению к оксиду алюминия, не более	2,2	2,7

При обработке маломутных вод наличие в неочищенном коагулянте нерастворимых примесей улучшает процесс хлопьеобразования. Сернокислый алюминий чувствителен к изменениям температуры. При низких температурах воды (зима) возрастает гидратация гидроокиси алюминия. Золь гидроокиси алюминия стабилизируется и плохо коагулируется ионами HCO_3^- и SO_4^{2-}. Повышение устойчивости золя отрицательно влияет на скорость хлопьеобразования (замедление), и остаточный алюминий попадает в очищенную воду, а гидроокись алюминия осаждается в трубах.

Сернокислый алюминий технический жидкий

Качество товарного продукта характеризуется показателями, приведенными в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Характеристика сернокислого алюминия технического жидкого

Определяемый показатель, %	Нормы для сорта, %
Al_2O_3, не менее	7,2 ± 0,5
H_2SO_4 свободная, не более	0,05
Fe (в пересчете на Fe_2O_3), не более	0,75
As, не более	0,0015
Нерастворимый в воде остаток, не более	0,5

Реагент поступает на станцию в гуммированных цистернах.

Сульфат закиси железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Его получают растворением железного лома в серной кислоте, а также при переработке травильных растворов. Продукт выпускается двух сортов. Качество коагулянта характеризуется показателями, приведенными в табл. 6.4. Реагент поступает на станцию в деревянных сухотарных бочках (до 120 кг), в фанерных барабанах или деревянных ящиках (до 80 кг).

Таблица 6.4

Характеристика сульфата закиси железа

Определяемый показатель, %	Нормы для сорта, %	
	1-го	2-го
$FeSO_4$, не менее	53,0	47,0
H_2SO_4 свободная, не более	0,3	1,0
Нерастворимый остаток, не более	0,2	1,0

Скорость осаждения хлопьев гидроксида железа в 1,5 раза больше скорости осаждения хлопьев гидроксида алюминия. Процесс окисления происходит достаточно быстро только при pH воды > 8, что вызывает необходимость подщелачивания воды.

Сульфат железа $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$

Это кусковой продукт, получаемый из отходов различных химических производств. Качество коагулянта характеризуется данными, приведенными в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Характеристика сульфата железа

Определяемый показатель, %	Нормы для сорта, %
Fe_2O_3 , не менее	20
H_2SO_4 свободная, не более	0,7
Fe_2 в пересчете на FeO, не более	1,5

Реагент доставляется на станцию в крытых железнодорожных вагонах или автотранспортом.

Железо хлорное $FeCl_3$

Его получают хлорированием железного лома при температуре 600–700°С. Он выпускается двух сортов. Качество коагулянта характеризуется показателями, приведенными в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Характеристика хлорного железа

Определяемый показатель, %	Нормы для сорта, %	
	1-го	2-го
$FeCl_3$, не менее	97	95
$FeCl_2$, не более	1	2
Нерастворимые в воде примеси, не более	2	не нормируется

Использование хлорного железа дает наиболее высокие результаты при совместном применении его с сернокислым алюминием и известью. Он поступает на станцию в стальных барабанах с толщиной стенок 1–3 мм, емкостью 75–100 л, защищенной внутренней и наружной поверхностью.

Флокулянты

При введении коагулянта в воду начинается образование хлопьев. Их объем, массу, способность к слипанию можно увеличить применением

флокулянтов, которые ускоряют реакцию (флокуляцию) и улучшают качество хлопьев (плотность, адгезионные свойства).

Флокулянты по составу могут быть неорганические и органические; по способу получения - синтетические или природные; по электрическому заряду - анионные, катионные, неионогенные.

Активная кремниевая кислота (АК)

Активная кремниевая кислота относится к неорганическим флокулянтам и готовится на месте потребления перед ее использованием. Исходным сырьем являются жидкое стекло и активаторы - кислоты, кислые соли, соли сильных кислот и слабых оснований, хлор и др.

Полиакриламид (ПАА)

Технический ПАА - желеобразная масса, образующая с водой гомогенные растворы. В России изготавливают два сорта ПАА - известковый и аммиачный. Первый содержит 6–9% полимера и не более 0,5% кальция, второй - 4–6 % полимера и не более 13% сульфата аммония. Он относится к анионным флокулянтам. Его следует вводить в воду после коагулянта. ПАА применяется в виде раствора с концентрацией полимера 0,1–1%.

Для интенсификации осветления мутных вод применяют флокулянты серии К (К-4, К-6). Эти флокулянты представляют полифункциональные полимеры амфотерного типа, содержащие в своем составе карбоксильные, карбоксилатные, амидные и имидные группы.

Выпускается этот продукт в виде 10–16% вязкой, густой пасты, хорошо растворимой в воде при температуре 10–16°С с образованием щелочных растворов. Дозы принимаются от 0,5 до 2 мг/л.

Используются также синтезированные флокулянты катионного типа ВА-2, ВА-3, ВА-2Т, ВА-3М, ВА-102, ВА-212. Эти флокулянты используются как самостоятельно действующие органические коагулянты. Применяемые дозы: летом - до 3 мг/л; в паводок - 0,75–1,5 мг/л. Флокулянты целесообразно применять при осветлении мутных вод.

Подщелачивающие реагенты

При недостатке щелочного резерва природной воды для успешного протекания гидролиза коагулянта, ее подщелачивают различными реагентами. При этом поддержание pH>6,5 существенно не только для снижения коррозионных свойств очищенной воды, но и для уменьшения остаточного содержания в ней алюминия и железа.

Для подщелачивания и стабилизации воды следует применять известь. При обосновании допускается применение соды. На станциях в качестве

реагента используется негашеная известь (CaO), гидратная известь, или пушонка (в основном $Ca(OH)_2$), известковое тесто $(Ca(OH)_2 + H_2O)$.

Качество товарного продукта характеризуется показателями, приведенными в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Характеристика подщелачивающих реагентов

Известь кальциевая	Содержание в перерасчете на высушенный продукт, %		Выход теста на 1 кг извести, не менее, кг	Остаток на ситах, %	
	активных оксидов кальция и магния, не менее	не погасившихся зерен, не более		0,200 мм, не более	0,090 мм, не более
Негашеная комовая (кипелка)					
1-й сорт	90	7	2,4	не норм.	не норм.
2-й сорт	80	10	2,0		
3-й сорт	70	12	1,5		
Негашеная молотая					
1-й сорт	90	7	-	2	10
2-й сорт	80	10	-	2	10
3-й сорт	70	12	-	2	10
Гашеная гидратная (пушонка)					
1-й сорт	67	не норм.	не норм.	2	10
2-й сорт	60	не норм.	не норм.	2	10
Тесто известковое					
1-й сорт	67	7	не норм.	-	-
2-й сорт	60	10	не норм.	-	-
3-й сорт	50	12	не норм.	-	-

Негашеная известь (комовая и молотая) поступает на станцию навалом в крытых железнодорожных вагонах, известковое тесто - в контейнерах, известковое молоко - в цистернах емкостью 1,5 $м^3$.

Реагенты для удаления привкусов и запахов

Для удаления привкусов и запахов применяют порошкообразный активированный уголь, перманганат калия, озон или хлорсодержащие реагенты.

Активированные угли - сорбенты, состоящие из углерода, получают из древесины и древесного угля, торфа, торфяного полукокса, ископаемых углей, других углеродсодержащих материалов, активируя их термическим разложением (в присутствии активирующих реагентов) содержащихся в них органических веществ. Активированный уголь хранят в герметичной таре в сухом помещении. Дозы активированного угля принимают в зависи-

мости от интенсивности привкусов или запахов в исходной воде: при 3 баллах – до 20 мг/л; при 4 баллах – 30–40 мг/л; при 5 баллах – 50–80 мг/л.

В случае использования перманганата калия сначала производят первичное окисление, через 10 мин вводят перманганат калия и через 2–3 мин - коагулянт. Доза перманганата калия зависит от перманганатной окисляемости воды: при окисляемости 8–10 мг O_2/л принимают дозу 2–4 мг/л; при окисляемости от 10 до 15 мг O_2/л – 4–6 мг/л; от 15 до 25 мг O_2/л – 6–10 мг/л.

Для удаления запахов используется также озон, который вводится в головную часть очистных сооружений. Доза озона назначается по данным технологических исследований и ориентировочно может быть принята равной от 1 до 8 мг/л в зависимости от окисляемости и приоритетного загрязнителя.

При высокой цветности или при удалении устойчивых запахов и привкусов, а также при наличии в воде опасных форм бактерий (при отсутствии на станции озонаторного оборудования) применяют суперхлорирование дозами 8 мг/л и более с последующим дехлорированием тиосульфатом натрия. Доза принимается из расчета 1,8 мг/л чистого вещества на 1 мг/л снимаемого избытка хлора. Тиосульфат натрия вводится в фильтрованную воду.

Для обеспечения очередности введения реагентов устраивают специальные контактные резервуары, рассчитанные на соответствующее время пребывания воды в них.

Реагенты для фторирования воды

Концентрация фтора в питьевой воде не должна превышать 1,2–1,5 мг/л в зависимости от климатического района [2].

Дозу фтора определяют по формуле:

$$Д = \frac{10^4 (m \cdot d - ф)}{К \cdot С}, \text{ мг/л,} \qquad (6.1)$$

где m - коэффициент, зависящий от места ввода реагента в обрабатываемую воду, принимаемый при вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке воды -1,1, при вводе в чистую воду - 1; d - необходимое содержание фтора в обрабатываемой воде в зависимости от климатического района расположения населенного пункта, мг/л; $ф$ - содержание фтора в исходной воде, мг/л; $К$ - содержание фтора в чистом реагенте, % (принимаемое для натрия кремнефтористого - 61, для аммония кремнефтористого - 64, для натрия фтористого - 45, для кислоты кремнефтористоводородной – 79); $С$ - содержание чистого реагента в товарном продукте (93 – 98%).

В настоящее время интенсивно ведутся работы по поиску **новых реагентов**. Испытано много образцов коагулянтов и флокулянтов отечественных и зарубежных фирм. Из отечественных коагулянтов лучшими показателями обладают: гидроксихлорид алюминия из г. Екатеринбурга (марок А и Б), раствор нефелинового коагулянта (РНК) производство г. Москвы, алюмокремниевый флокулянт-коагулянт НИИ медицины НАНИ Чувашской республики. Из зарубежных хорошо зарекомендовали коагулянты АЛГ и АВР фирмы «Кемира» (Финляндия). Наиболее эффективные отечественные флокулянты – СА-3Н-600 (АО «Сорбент» г. Пермь), а из зарубежных наилучшими оказались флокулянты: «Феннопол – К211Е, N300, N200, А321» фирмы «Кемира» (Финляндия).

6.2. Расчет реагентного хозяйства

Дозы реагентов для обесцвечивания и осветления воды

Для устранения цветности и мутности природных вод производят обработку их коагулянтами. Доза коагулянта для вод разного состава неодинакова и устанавливается путем опытного (пробного) коагулирования. Дозу коагулянта, в расчете на безводное вещество, при обработке мутных вод следует принимать по табл. 6.8, а при обработке цветных вод определять по формуле:

$$Д = 4\sqrt{Ц}, \text{ мг/л}, \qquad (6.2)$$

где $Ц$ - цветность исходной воды в градусах платинокобальтовой шкалы.

При одновременном наличии в воде взвешенных веществ и цветности принимается большая из доз, определенных по табл. 6.8 и формуле (6.2).

Таблица 6.8

Выбор дозы коагулянта по мутности

Мутность воды, мг/л	Доза безводного коагулянта для обработки мутных вод, мг/л
До 100	25-35
Свыше 100 до 200	30-40
Свыше 200 до 400	35-45

Продолжение таблицы 6.8

Свыше 400 до 600	45-50
Свыше 600 до 800	50-60
Свыше 800 до 1000	60-70
Свыше 1000 до 1500	70-80

Меньшие значения доз относятся к воде, содержащей грубодисперсную взвесь. При применении КО или фильтров, работающих по принципу коагуляции в зоне фильтрующей загрузки, дозу коагулянта следует принимать на 10–15% меньше, определенных по табл. 6.8 или формуле (6.2).

Для улучшения процесса хлопьеобразования при недостаточной щелочности исходной воды параллельно с применением коагулянтов проводят ее подщелачивание.

Дозу подщелачивающего реагента надлежит определять по формуле:

$$Д_{щ} = К_{ш}(\frac{Д_{к}}{e_{к}} - Щ_{0} + 1), \text{ мг/л}, \qquad (6.3)$$

где $Д_{к}$ - максимальная (в период подщелачивания) доза безводного коагулянта, мг/л; $e_{к}$ - эквивалентная масса коагулянта (безводного), мг/мг-экв. (принимается для $Al_2(SO_4)_3$-57, $FeCl_3$ - 54, $Fe_2(SO_4)_3$ - 67); $К_{щ}$ - коэффициент, равный для извести (по CaO) - 28, для соды (по Na_2CO_3) - 53; $Щ_0$ - минимальная щелочность исходной воды, мг-экв/л.

Подщелачивающие реагенты вводятся одновременно с вводом коагулянтов. Если по расчету величина $Д_{щ}$ получается отрицательной, то подщелачивания не требуется.

Для интенсификации процесса коагуляции взвеси, осветления и обесцвечивания воды используют флокулянты. Дозу флокулянтов следует принимать:

а) ПАА по безводному продукту: при вводе перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком – по табл. 6.9; при вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке – 0,05–0,1 мг/л; при вводе перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, а также перед префильтрами – 0,2 –0,6 мг/л;

Таблица 6.9

Рекомендуемые дозы ПАА

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

б) активной кремнекислоты (по SiO_2): при вводе перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком для воды с температурой более 5–7°С – 2–3 мг/л, с температурой менее 5–7°С – 3–5 мг/л; при вводе перед фильтрами при двухступенчатой очистке – 0,2–0,5 мг/л; при вводе перед контактными осветлителями или фильтрами при одноступенчатой очистке, а также перед префильтрами – 1–3 мг/л.

Флокулянты следует вводить в воду после коагулянтов, 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. В случае образования хлорфенольных запахов за 2–3 мин до первичного хлорирования в воду иногда вводится раствор аммиака (преаммонизация воды). Количество аммиака принимается в размере 20–25% от дозы хлора.

В практике проектирования и эксплуатации водоочистных комплексов известны различные схемы организации реагентного хозяйства, которые зависят от получения продукции с заводов - поставщиков.

Схемы реагентного хозяйства приведены на рис. 6.1.

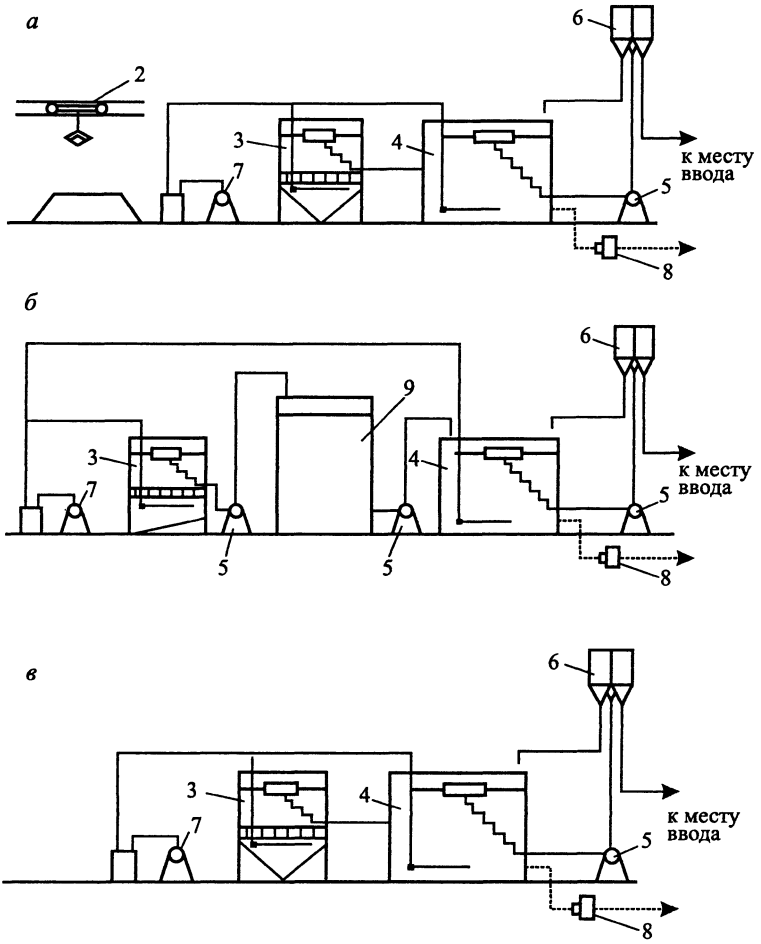


Рис. 6.1. Схемы реагентного хозяйства при сухом (а), мокром (б) и сухо-мокром (в) хранении коагулянта:

1 –склад коагулянта; 2 – кран-балка с тельфером; 3 – растворный бак; 4 – расходный бак; 5 – насос; 6 – дозатор типа ДИМБА; 7 – воздуходувка; 8 – насос-дозатор; 9 – баки-хранилища

Сухой способ хранения реагентов

При сухом хранении склад реагентов устраивается на первом этаже рядом с растворными баками. Сернокислый алюминий хранится навалом высотой слоя до 2 или 3,5 м (большая величина при наличии механизации), хлорное железо и железный купорос - в таре завода-изготовителя в два яруса высотой до 2,5 м.

Площадь склада для хранения навалом определяется по уравнению:

$$F = \frac{\alpha \cdot Q \cdot Д_к \cdot t}{10000 \cdot P \cdot г \cdot h}, м^2, \quad (6.4)$$

где α - коэффициент, учитывающий дополнительную площадь на проходы или резервирующий дополнительный объем, $\alpha = 1{,}1\text{-}1{,}2$; Q - полная производительность станции, $м^3$/сут; $Д_к$ - доза реагента, мг/л; t - время, на которое предусматривается запас реагентов, до 30 суток; P - содержание безводного продукта в коагулянте, %; γ - объемный вес для насыпного коагулянта, $\gamma = 1{,}1\text{-}1{,}4$ т/$м^3$; h - высота слоя коагулянта, м.

Емкость склада следует принимать кратной объему разовой поставки реагента, который может доставляться автосамосвалами с базового склада или большегрузными 60-тонными железнодорожными вагонами. Тогда требуемая площадь склада составит:

$$F_1 = \frac{(G_т \cdot N + t \cdot G)}{h \cdot г}, м^2, \quad (6.5)$$

где $G_т$ - грузоподъемность самосвала (3, 5, 7 т) или большегрузного железнодорожного вагона (60 т); N - количество одновременно прибывающих самосвалов или вагонов; t - время, на которое необходимо иметь запас реагента на складе к моменту поступления новой партии, принимаемое равным 2–3 сут при доставке самосвалами с базового склада и 10 сут - при доставке железнодорожными вагонами; G - суточная потребность в реагенте, т/сут.

Суточная потребность реагента определяется по формуле:

$$G = \frac{Q \cdot Д_к}{10000 \cdot P}, \text{ т/сут.} \quad (6.6)$$

Во время работы коагулянт со склада подается в растворные баки, где готовят раствор коагулянта с концентрацией, считая по чистому и безводному продукту: для неочищенного - до 17%; для очищенного кускового - до 20%; для очищенного гранулированного - до 24%.

Концентрация раствора в расходных баках принимается до 12%.

Емкость растворных баков определяется по формуле:

$$W_p = \frac{Q \cdot Д_к \cdot t}{10000 \cdot B_р \cdot г}, м^3, \quad (6.7)$$

где Q - полный расход воды, м^3/ч; $Д_к$ - доза коагулянта по безводному продукту, мг/л; t - время, на которое заготавливается коагулянт, ч; $B_р$ - концентрация раствора в растворных баках, %; γ - плотность раствора, т/м^3 ($\gamma = 1$ т/м^3).

Объем расходных баков определяется по формуле:

$$W = \frac{W_р \cdot B_р}{B}, \text{ м}^3, \qquad (6.8)$$

где B - рабочая концентрация раствора в расходных баках, %.

Количество растворных баков надлежит принимать с учетом объема разовой поставки, способов доставки и разгрузки коагулянта, его вида, а также времени его растворения и должно быть не менее трех. Количество расходных баков принимается не менее двух. В случае невозможности самотечного перепуска раствора предусматривается их перекачка кислотостойкими насосами. Насосы рекомендуется подбирать по табл. 6.10, приняв время перекачки 1–1,5 ч.

Растворы коагулянта вызывают коррозию бетона и стали, поэтому стенки баков необходимо надежно изолировать, а канализационные трубопроводы изготавливать из полиэтиленовых труб диаметром не менее 100 мм. В качестве изоляции наносят полиизобутилен с последующей пригрузкой кислотостойким кирпичом. Растворные баки оборудуются колосниковой решеткой из досок 40х200 мм, уложенных на ребра, с прозорами 10-15 мм.

Стенки баков ниже решетки выполняются наклонными с углом 45–50° к горизонту. При больших размерах в плане дну баков придается уклон 15–25°. Объем подколосниковой части является дополнительным и в расчетную величину объема баков не входит.

Днищу расходных баков придается уклон не менее 0,01 по направлению к спускному трубопроводу. Забор раствора коагулянта следует предусматривать с верхнего уровня.

По найденным объемам определяются размеры баков: в плане при высоте слоя раствора в них над решеткой не более 2,5 м и ширине сторон в плане не менее 1 м. Превышение борта над уровнем раствора принимается в пределах 0,3–0,5 м.

Таблица 6.10

Характеристика насосов

Марка насоса	Производительность, $м^3/ч$	Напор, м	КПД ŋ, %	Мощность электродвигателя, N, кВт	Частота вращения, об/мин.	Допустимый кавитационный запас Δ h, м
Х50-32-125а	12,5	14,0	50	1,0	3000	3,5
Х65-50-125б	25,0	12,5	62	1,35	3000	3,6
Х80-65-160а	50,0	20,0	62	4,3	3000	3,8

Мокрый способ хранения коагулянта

В состав сооружений входят: растворные баки, баки-хранилища (могут быть совмещены с растворными), расходные баки, дозаторы, кислотостойкие насосы. На площадку очистных сооружений реагент доставляется самосвалами или в вагонах по железной дороге. С пандуса высотой 0,9-1,2 м коагулянт выгружается в растворные баки, частично заполненные водой. Приготовленный раствор необходимой крепости после 2–4- часового отстаивания перекачивается в баки-хранилища. Далее, по мере необходимости, крепкий раствор перекачивается в расходные баки, где концентрация его доводится до рабочей (не более 12%). Затем раствор коагулянта рабочей концентрации насосами подается в дозирующее устройство и оттуда к месту ввода.

Суточный расход товарного коагулянта составит:

$$G_{сут} = \frac{Q_{сут}^{полн} \cdot Д_к}{10000 \cdot P}, \text{ т/сут,} \qquad (6.9)$$

где $Q_{сут}^{полн}$ - суточный расход воды, $м^3$ /сут; $Д_к$ - расчетная доза реагента по безводному продукту, $г/м^3$; P - процентное содержание в реагенте безводного продукта, для неочищенного сернокислого алюминия 33,5%, очищенного – 40,3%.

Объем растворных баков $W_р$ определяется из условия кратности их 60-тонным вагонам, или 3,5-, 7-тонным самосвалам.

Общая полезная емкость баков принимается из расчета 1,9–2,2 $м^3$ на 1т очищенного и 2,2–2,5 $м^3$ на 1т неочищенного коагулянта. Так, при поступлении на станцию одного большегрузного железнодорожного вагона грузоподъемностью 60 т с неочищенным коагулянтом емкость баков должна со-

ставлять (2,2–2,5) · 60 м^3. Количество баков принимается не менее трех. По конструкции они аналогичны растворным бакам, используемым при сухом хранении реагента. Глубина слоя раствора над колосниковой решеткой принимается не более 2,5 м и ширина сторон в плане - не менее 1 м.

В баках предусматривается съемная колосниковая решетка с прозорами 10–15 мм.

Объем осадочной или подрешеточной части принимается 30% от объема бака.

Из отстойной части растворных баков крепкий раствор забирается при помощи поплавка и подается в баки-хранилища.

При этом способе хранения должен предусматриваться 15–30-суточный запас коагулянта на станции.

При определении фактического времени запаса коагулянта в баках-хранилищах должно учитываться время хранения реагента в растворных баках.

Например, если растворные баки обеспечивают 6-суточное потребление реагента ($t_р = 6$ сут), а общий запас реагента создается на 30 сут ($t = 30$ сут), то фактическое время хранения раствора в баках-хранилищах составит:

$$t_{хр} = t - t_р = 30 - 6 = 24, \text{ сут.} \qquad (6.10)$$

За этот период будет израсходовано товарного глинозема:

$$G_{хр} = G_{сут.} \cdot t_{хр}, \text{ т.} \qquad (6.11)$$

Объем баков-хранилищ определяется из расчета 1,5-1,7 м^3 на 1 т товарного продукта:

$$W_{хр} = (1{,}5 - 1{,}7) \cdot G_{хр}, \text{ м}^3, \qquad (6.12)$$

Число баков-хранилищ (принимается не менее трех).

Из баков-хранилищ крепкий раствор перекачивается по мере необходимости в расходные баки. Емкость расходных баков должна быть не менее сменной потребности, а количество баков - не менее двух.

Часовой расход раствора коагулянта рабочей концентрации определяется по формуле:

$$q_ч = \frac{G_{сут} \cdot P}{24 \cdot B \cdot г}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (6.13)$$

где $G_{сут}$ - суточный расход товарного коагулянта, т/сут; P - содержание безводного продукта в реагенте, % (для неочищенного сернокислого алюминия 33,5%, для очищенного – 40,3%); B - концентрация раствора, %; γ - плотность раствора реагента, т/м^3.

В табл. 6.11 приведены значения плотности сернокислого алюминия при разной концентрации раствора и температуре $t = 19°C$.

Таблица 6.11

Плотности раствора коагулянта

Вещество	Плотность раствора при концентрации %, т/м^3				
	4	6	8	10	20
$Al_2(SO_4)_3$	1,040	1,060	1,083	1,105	1,226

Емкость расходных баков принимается не менее сменной потребности по зависимости:

$$W = q_ч \cdot t, м^3, \quad (6.14)$$

где t - время расходования коагулянтов из баков, ч; $q_ч$ - часовой расход раствора коагулянта, м^3 /ч.

Для растворения коагулянта в растворных баках и перемешивания при разбавлении до требуемой концентрации в расходных применяется воздушный барботаж.

Интенсивность подачи воздуха принимается: для растворения – 8–10 л/(с·м^2), для перемешивания - 3–5 л/(с·м^2) [2].

Общее количество воздуха для растворения и перемешивания составит:

$$Q_в = Q_{раств} + Q_{расх}, м^3/мин, \quad (6.15)$$

где $Q_{раств}$ - количество воздуха для растворения коагулянта, м^3/мин; $Q_{расх}$ - количество воздуха для перемешивания коагулянта в расходных баках, м^3/мин.

Для растворных баков:

$$Q_{раств} = 0,06 F_{раств} \cdot q_1, м^3/мин, \quad (6.16)$$

где n - количество одновременно работающих растворных баков; $F_{\text{раств}}$ - площадь в плане растворного бака, м^2; q_1 - интенсивность подачи воздуха для растворения, л/(с·м^2).

Для расходных баков:

$$Q_{\text{расх}} = 0{,}06 F_{\text{расх}} \cdot q_2 \text{, м}^3\text{/мин,} \qquad (6.17)$$

где m - количество одновременно работающих расходных баков; $F_{\text{расх}}$ - площадь в плане расходного бака, м^2; q_2 - интенсивность подачи воздуха для перемешивания, л/(с·м^2).

По найденному расходу воздуха и данным табл. 6.12 можно подобрать воздуходувки. Их количество должно быть не менее двух.

Таблица 6.12

Характеристика воздуходувок

Избыточное давление, м	Подача воздуходувок , м^3/мин, марок				Завод-изготовитель
	ВК-1,5	ВК-3	ВК-6	ВК-12	
3	1,58	3,48	6,3	10,5	Бессоновский компрессорный завод
6	1,4	3,1	5,7	10,4	
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 воздухопроводов определяется по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{в}}}{\pi \cdot V}} \text{, м,} \qquad (6.18)$$

где V – скорость движения воздуха, принимается равной 10–15 м/с.

Воздух распределяется при помощи дырчатых винипластовых труб, уложенных под решетками растворных или по дну расходных баков отверстиями вниз, на расстоянии 0,4–0,5 м друг от друга. Скорость выхода воздуха из отверстий принимается 20–30 м/с при диаметре отверстий 3–4 мм.

Дозирование реагентов

Дозаторы обеспечивают подачу заданного количества раствора реагента в обрабатываемую среду. Они подразделяются на два основных типа: 1) дозаторы постоянной дозы, которые применяются при равномерной подаче среды с постоянным качественным составом; 2) дозаторы пропорциональной дозы, с помощью которых достигается автоматическое изменение подачи реагента при изменении расхода или состава среды.

К дозаторам первого типа относятся: поплавковые дозаторы, применяемые на станциях производительностью до 30000 $м^3$/сут; дозировочные бачки с постоянным уровнем и сечением выходного отверстия; насосы-дозаторы марок НД и 1В (табл. 6.13).

Дозаторы второго типа включаются в схему автоматизации процесса водоподготовки. Изменение дозы осуществляется исполнительным механизмом. К таким дозаторам относятся: автоматический дозатор, дозатор ДИМБА, насосы-дозаторы 1В с электрифицированным вариатором.

В зависимости от схемы подачи реагента дозаторы могут быть напорными или безнапорными. Насосы-дозаторы могут устанавливаться в помещении расходных баков, а дозаторы типа ДИМБА - на специальных площадках, устраиваемых над смесителем с целью возможности самотечной подачи растворов из дозатора к смесителю.

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

Таблица 6.13

Характеристика насосов-дозаторов

Марка насоса-дозатора	Производительность, $м^3$/ч	Напор, м	Мощность электродвигателя, кВт	Завод-изготовитель
НД-100/10	0,1	100	0,27	Ригахиммаш
НД-160/10	0,16	100	0,6	-//-
НД-400/10	0,4	100	1,0	-//-
НД-630/10	0,63	100	1,1	-//-
НД-1000/10	1,0	100	2,2	-//-
НД-1600/10	1,6	100	3,0	-//-
НД-2500/10	2,5	100	3,0	-//-
1В6-10Х	0,45-4,3	60	4,0	Ливгидромаш

Отделение извести

Известкование производят при коагулировании воды, когда недостаточна щелочность, а также с целью умягчения или при стабилизационной обработке. При подщелачивании доза извести определяется по формуле (6.3), при умягчении воды - по следующим формулам:

а) при $\frac{Ca^{2+}}{20} > Ж_к$

$$Д_и = 28 \cdot (\frac{CO_2}{22} + Ж_к + \frac{Д_к}{е_к} + 0{,}3), \text{ мг/л;} \qquad (6.19)$$

б) при $\frac{Ca^{2+}}{20} < Ж_к$

$$Д_и = 28 \cdot (\frac{CO_2}{22} + 2Ж_к + \frac{Д_к}{е_к} - \frac{Ca^{2+}}{20} + 0{,}5), \text{ мг/л;} \qquad (6.20)$$

в) при известково-содовом умягчении воды

$$Д_и = 28 \cdot (\frac{CO_2}{22} + Ж_к + \frac{Mg^{2+}}{12} + \frac{Д_к}{е_к} + 0{,}5), \text{ мг/л,} \qquad (6.21)$$

$$Д_с = 53 \cdot (Ж_{нк} + \frac{Д_к}{е_к} + 1), \text{ мг/л,} \qquad (6.22)$$

где $Д_и$ – доза извести, мг/л; $Д_с$ – доза соды, мг/л; CO_2 – концентрация в воде свободной двуокиси углерода, мг/л; Ca^{2+}, Mg^{2+} – содержание в воде кальция и магния, мг/л; $Д_к$ – доза коагулянта $FeCl_3$ или $FeSO_4$ в расчете на безводные продукты, мг/л; $е_к$ – эквивалентная масса активного вещества коагулянта, мг/мг-экв. (для $FeCl_3$ – 54, для $FeSO_4$ – 76); $Ж_{нк}$ – некарбонатная жесткость воды, мг-экв/л; $Ж_к$ –карбонатная жесткость воды, мг-экв/л.

На очистные сооружения известь может поступать в виде порошка и комьев или же в виде известкового молока и теста. Комовая известь постав-

ляется в вагонах или автосамосвалах навалом, порошкообразная и тесто - в контейнерах, известковое молоко - в цистернах емкостью 1,5 м^3.

Порошкообразная и комовая известь может храниться на станции сухим и мокрым способом; известковое молоко или тесто хранится мокрым способом. При расходе извести до 50 кг/сут по CaO допускается применение схемы с использованием известкового раствора, получаемого в сатураторах двойного насыщения.

Отделение извести состоит из двух изолированных помещений. В первом размещается склад с оборудованием для приготовления и хранения крепкого известкового молока, а во втором – оборудование для приготовления, чистки и дозирования известкового молока рабочей концентрации.

Отделение полиакриламида (ПАА)

Отделение полиакриламида состоит из склада и помещения, где располагаются установки для растворения и дозирования раствора ПАА. Полиакриламид поставляется в полиэтиленовых мешках емкостью 40 кг, упакованных в ящики. Площадь склада определяется по уравнению (6.4), при $\alpha = 1{,}2$; $t = 30$ сут; $h = 1{,}0$–$1{,}5$м; $\gamma = 1{,}0$ т/м^3; $P = 6$–7% и проверяется по формуле (6.5).

По мере необходимости ПАА подается для растворения в установку, состоящую из бака, лопастной мешалки и насоса. Из установки раствор подается в расходные баки, где он разбавляется водой до рабочей концентрации.

Устройство расходных баков аналогично бакам, используемым для получения рабочих растворов коагулянта. Объем расходных баков определяется по формуле (6.7) при t не более 360 ч, $B_р = 0{,}1$-$1{,}0\%$, $\gamma = 1{,}0$ т/м^3.

Число расходных баков принимается не менее двух. Высота слоя раствора до 2,5 м. Остальные размеры принимаются конструктивно, аналогично расходным бакам для коагулянта.

Для интенсификации разбавления раствора ПАА в баках используются воздуходувки, а для дозирования - насосы-дозаторы марки НД.

Отделение активной кремнекислоты (АК)

В основе технологического процесса приготовления активированной кремнекислоты лежит принцип подачи рабочих растворов реагентов, в заданных концентрациях и соотношении в специальный аппарат - реактор-мешалку, где при интенсивном кратковременном перемешивании происходит химическое взаимодействие растворов жидкого стекла и активатора.

Для приобретения флокулирующих свойств полученный раствор выдерживается в течение определенного времени в полимеризаторе. После этого приготовленный раствор активной кремнекислоты подается в обраба-

тываемую воду. Схема установки для приготовления АК представлена на рис. 6.2.

Дозирование производится в последнюю секцию смесителя, камеру хлопьеобразования или трубопроводы перед отстойниками (осветлителями) и фильтрами.

Техническая характеристика основного оборудования для установок различной производительности по приготовлению активированной кремнекислоты приведена в табл. 6.14.

Концентрация жидкого стекла принимается 1,5–2,5%, сернокислого алюминия -1,5–3,5%. Готовый раствор флокулянта разбавляется до 0,5% концентрации.

Выбор установки производится по требуемому часовому расходу АК (считая по SiO_2), определяемому по формуле:

$$q_{АК} = \frac{Д_{АК} \cdot q}{1000}, \text{ кг/ч}, \qquad (6.23)$$

где q - расчетный часовой расход воды; м^3/ч; $Д_{АК}$ - доза активной кремнекислоты по SiO_2, мг/л.

Таблица 6.14

Характеристика установки для приготовления АК

Производительность установки по SiO_2, кг/ч	Марка насосов-дозаторов	Объем, л		Объем рабочих растворов, м^3	
		реактора	полимеризатора	жидкого стекла	сернокислого алюминия
3,0	НД 160/10	10	300	6	6
7,5	НД 400/10	25	750	15	15
12	НД 630/10	40	1200	24	24

Кроме рабочих устройств установки, в отделении АК устанавливаются в качестве резерва один реактор и один полимеризатор.

Отделение АК состоит из склада жидкого стекла и помещения для размещения оборудования, необходимого для получения, хранения и дозирования АК. Жидкое стекло на складе хранится в металлических или деревянных бочках.

Площадь склада для хранения этого реагента может быть подсчитана по формуле (6.4) при значениях: $h = 1{,}5–2{,}0$ м, $\gamma = 1{,}4–1{,}5$ т/м^3, $P = 34{,}5\%$ и дозе жидкого стекла (считая на чистое вещество), определенного по формуле:

$$Д = 3{,}5 \cdot Д_{АК}, \text{ мг/л}. \qquad (6.24)$$

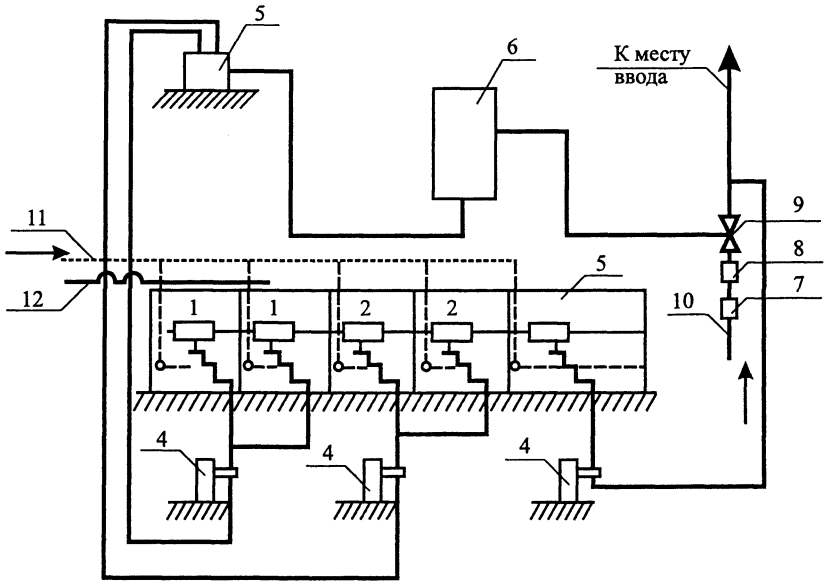


Рис.6.2. Схема установки для приготовления АК:
1 – баки рабочего раствора сернокислого алюминия; 2 – то же жидкого стекла; 3 – бак готового продукта АК; 4 – насосы-дозаторы; 5 – реактор; 6 – полимеризатор; 7– регулятор давления; 8 – расходомер; 9 - эжектор; 10 – внутренний водопровод; 11 – подача сжатого воздуха; 12– подача крепкого раствора сернокислого алюминия

В отделении АК склада сернокислого алюминия не предусматривается. Рабочий раствор глинозема готовится в баках установки АК путем разбавления водой концентрированного раствора при помощи насоса, расчетная производительность которого подсчитывается по формуле:

$$q_{\text{п}} = \frac{W \cdot в}{t \cdot в_1}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (6.25)$$

где W - объем одного бака раствора глинозема в установке АК (табл. 6.14), м^3; t - время перекачки концентрированного раствора из отделения коагулянта, t = 1,0-1,5 ч.; $в$ - концентрация перекачиваемого раствора коагулянта, %, $в_1$ - концентрация рабочего раствора в баках установки АК, $в_1$ = 1,5-3,5%.

По найденной производительности подбирается насос. Число насосов должно быть не менее двух (один рабочий, другой резервный). Насос устанавливается в отделении коагулянта.

Доза коагулянта для приготовления АК составляет 1,3 $Д_{АК}$ мг/л, которая должна быть учтена при определении площади склада и расчете устройств отделения коагулянта. Кроме того, для подачи воздуха и перемешивания им рабочих растворов в баках установки АК следует в отделении

коагулянта дополнительно установить воздуходувку производительностью, принятой для растворения сернокислого алюминия.

Размеры баков установки АК рассчитывают аналогично определению размеров расходных баков отделения коагулянта.

Отделение активированного угля

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

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

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 (6.4) при $P = 100\%$, высоте загрузки склада $h = 1{,}2–1{,}4$ м, объемном весе угольного порошка $\gamma = 0{,}2$ т/м^3, а затем проверена по формуле (6.5).

Емкость гидравлической или лопастной мешалки определяется по формуле (6.7), при этом время, на которое заготавливается угольная пульпа принимается не более 4 часов, концентрация угольной пульпы $в_р = 5–10\%$, объемный вес угольной пульпы $\gamma = 0{,}94$ т/м^3 при 5% концентрации. По найденной емкости выбирается типовая мешалка. Число мешалок должно быть не менее двух.

Бункер принимается цилиндрической формы с полезной емкостью:

$$W_б = \frac{Д_у \cdot q \cdot t}{1000 \cdot 1000 \cdot г}, \text{ м}^3, \qquad (6.26)$$

где $Д_у$ – доза угля, мг/л; q - часовой расход обрабатываемой воды, м^3/ч.

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

Дозировочное устройство и автоматический дозатор подбирают по расходу $\frac{W_м}{t}$, м^3/ч.

Отделение соды, перманганата калия и тиосульфата натрия

Для каждого реагента устраивается самостоятельное отделение в реагентном 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 (6.4), при $P = 100\%$, значении высоты загрузки склада $h = 1{,}5–2$ м и объемного веса $\gamma = 1{,}2–1{,}5$ т/м^3.

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

Емкость мешалки или бака определяется по формуле (6.7) при $t = 6–8$ ч, $\gamma = 1$ т/м^3 и концентрации раствора: для перманганата калия $B_р = 5–8\%$, для тиосульфата натрия $B_р = 2–5\%$.

По найденной емкости подбирается гидравлическая или лопастная мешалка.

В случае применения бака размеры его в плане назначаются конструктивно. Высота слоя раствора принимается 1,5–2 м. Воздушная система для растворения реагента в баке рассчитывается на интенсивность подачи воздуха 4–6 л(с·м^2).

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

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

6.3. 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^3/сут) реагентное хозяйство устраивают в отдельном здании.

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

На рис.6.3 приведены некоторые варианты компоновки реагентного цеха при различных способах хранения реагентов.

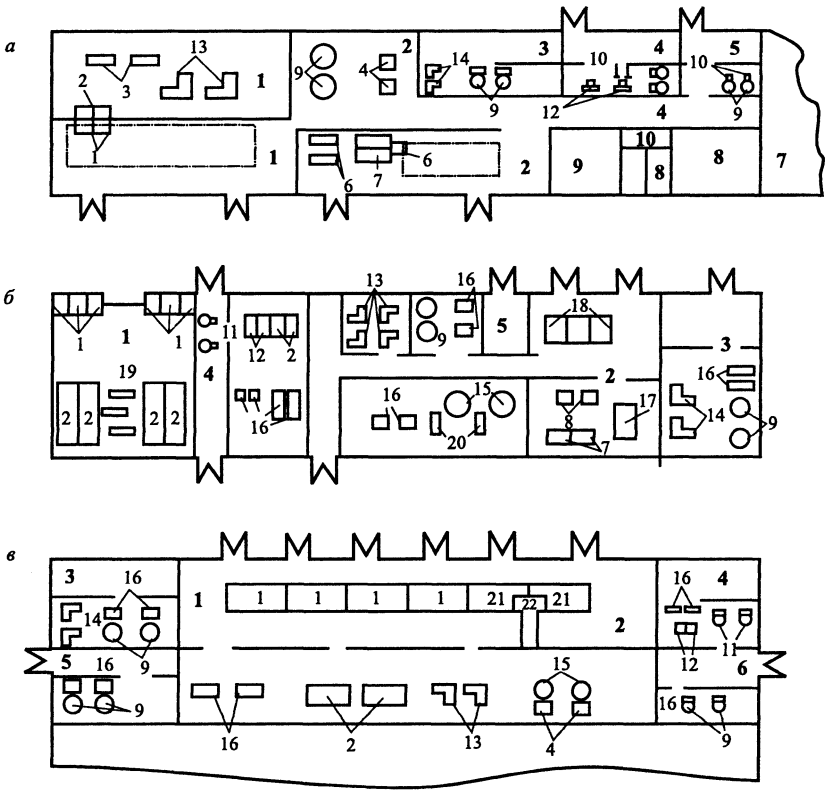


Рис. 6.3. Схемы реагентного цеха со складом сухого хранения коагулянта и извести (*а*), со складом мокрого хранения коагулянта и извести (*б*), со складом сухо-мокрого хранения коагулянта и с использованием привозного известкового теста (*в*): 1 – отделение коагулянта; **2** – то же извести; **3** – то же угля; **4** – то же полиакриламида; **5** – то же фтора; **6** – то же перманганата калия; **7** – служебные помещения и зал основных сооружений; **8** – хлораторная; **9** – аммонизаторная; **10** – вентиляционная камера.

1 – растворные баки; 2 – расходные баки; 3 – насосы для перекачки раствора 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

Глава 7. Расчет смесительных устройств и камер хлопьеобразования

7.1. Краткие сведения о смесителях и камерах хлопьеобразования

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.

По принципу действия различают смесители гидравлического и механического типов.

В смесителях гидравлического типа перемешивание раствора реагента с обрабатываемой водой достигается за счет турбулизации потока.

Наиболее широко применяется гидравлический тип смесителей. 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.

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, при обосновании, 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.

7.2. Расчет смесителей

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 [8].

Вертикальный (вихревой) смеситель приведен на рис. 7.1.

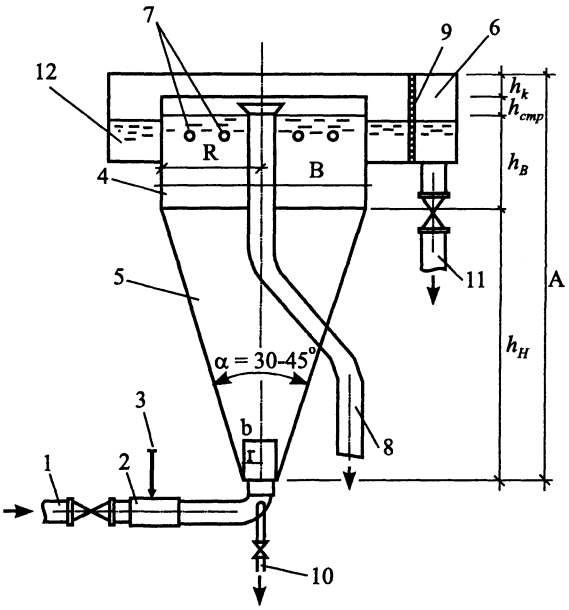


Рис. 7.1. Вертикальный (вихревой) смеситель:
1 - трубопровод подачи воды на смеситель; 2 - устройство ввода реагента; 3 - трубопровод ввода реагента; 4 - цилиндрическая или квадратная часть смесителя; 5 - конусная или пирамидальная часть смесителя; 6 - сборный карман; 7 - затопленные отверстия; 8 - переливной трубопровод; 9 - сетка; 10 - трубопровод опорожнения; 11 -трубопровод отвода воды; 12 - сборный лоток

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

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

Центральный угол α между наклонными стенками должен составлять 30–45°.

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 $h_в$ 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 следующей последовательности.

Расчетный расход воды приходящейся на смесители определяется по формуле:

$$Q_C = \frac{Q}{n}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7.1)$$

где Q - расход воды с учетом расхода на собственные нужды станции, м^3/ч; n - количество смесителей.

Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя определяется по формуле:

$$F_B = \frac{Q_C}{V_{BY}}, \text{ м}^2, \quad (7.2)$$

где V_{BY} - скорость потока воды на отметке сборного устройства, м/ч.

Размер корпуса в плане определяется:

- для круглого по формуле:

$$D_B = \sqrt{\frac{4 \cdot F_B}{\pi}}, \text{ м}, \quad (7.3)$$

где D_B - диаметр верхней части усеченного конуса;

- для квадратного по формуле:

$$B = \sqrt{F_B}, \text{ м}, \quad (7.4)$$

где B - сторона верхней части смесителя.

Размеры нижней части смесителя определяются согласно рис. 7.2а:

- используя значения Q и $V_{тр}$ [18], находят внутренний диаметр подающего трубопровода;

- с учетом толщины стенок трубы определяют ее наружный диаметр $d_н$.

Тогда площадь нижней части смесителя в месте примыкания подающего трубопровода определяется по формулам:

- для круглого:

$$f = \frac{\pi \cdot d_н^2}{4}, \text{ м}^2; \quad (7.5)$$

- для квадратного:

$$b = d_{н},\ f = b^2,\ м^2 \qquad (7.6)$$

где b - сторона нижней части смесителя.

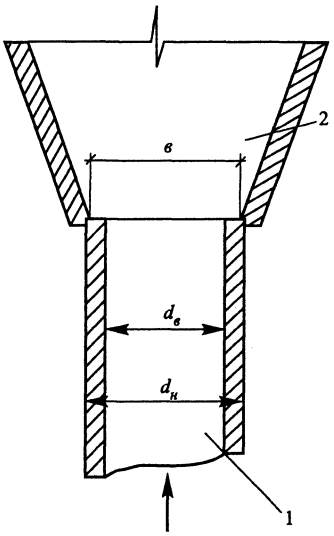


Рис. 7.2а. Нижняя часть вихревого смесителя:
1 - трубопровод подачи воды на смеситель; 2 - конусная или пирамидальная часть смесителя

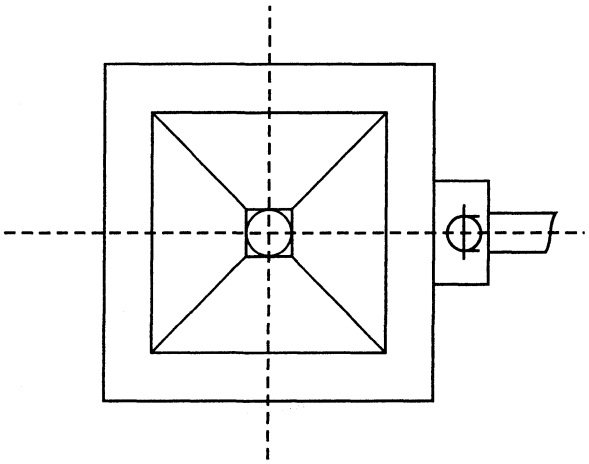


Рис. 7.2б. Система сбора и отвода воды вихревого смесителя:
1 - сборный лоток; 2 - сетка; 3 - сборный карман; 4 - трубопровод отвода воды

Высота нижней части смесителя определяется по формулам:
- для усеченного конуса:

$$h_{\text{Н}} = \frac{R - r}{\text{tg}\frac{\alpha}{2}}, \text{ м}, \tag{7.7}$$

где R и r - радиусы верхней и нижней частей усеченного конуса, м;
α - центральный угол между наклонными стенками;
- для усеченной пирамиды:

$$h_{\text{Н}} = \frac{B - b}{2\text{tg}\frac{\alpha}{2}}, \text{ м}. \tag{7.8}$$

Объем нижней части смесителя $W_{\text{Н}}$ рассчитывается по формулам:
- для усеченного конуса:

$$W_{\text{Н}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_{\text{Н}} \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2), \text{ м}^3; \tag{7.9}$$

- для усеченной пирамиды:

$$W_{\text{Н}} = \frac{1}{3} \cdot h_{\text{Н}} \cdot (F_{\text{В}} + f + \sqrt{F_{\text{В}} \cdot f}), \text{ м}^3 \tag{7.10}$$

Полный объем смесителя рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{Q_{\text{С}} \cdot t}{60}, \text{ м}^3, \tag{7.11}$$

где $Q_{\text{С}}$ - полный часовой расход воды, подаваемой на смеситель, м^3/ч;
t - время пребывания воды в смесителе, мин.
Объем верхней части смесителя определяют по формуле:

$$W_{\text{В}} = W - W_{\text{Н}}. \tag{7.12}$$

Высоту верхней части смесителя рассчитывают по выражению:

$$h_{\text{В}} = \frac{W_{\text{В}}}{F_{\text{В}}}, \text{ м.} \qquad (7.13)$$

Если рассчитанная величина $h_{\text{В}}$ не укладывается в пределы от 1,0 до 1,5 м, то расчет выполняется снова. Изменяя значения центрального угла α между наклонными стенками в пределах 30–45° и время пребывания воды в смесителе от 1,5 до 2 мин, необходимо добиться значения $h_{\text{В}}$ в пределах от 1,0 до 1,5 м.

Высота смесителя определяется по формуле:

$$h = h_{\text{Н}} + h_{\text{В}} + h_{\text{стр}}, \text{ м,} \qquad (7.14)$$

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

Тогда полная высота смесителя определяется по формуле:

$$H = h + h_{\text{к}}, \text{ м,} \qquad (7.15)$$

где $h_{\text{к}}$ - конструктивный размер принимается равным 03–0,5 м.

Живое сечение потока воды в сборном лотке (рис. 7.2б) определяется по формуле:

$$\omega_{\text{Л}} = \frac{Q_{\text{С}}^{'}}{V_{\text{Л}} \cdot 3600}, \text{ м}^2, \qquad (7.16)$$

где $Q_{\text{С}}^{'} = \frac{Q_{\text{С}}}{2}$, м^3/ч (условно принимается, что поток воды, протекающий по лоткам, делится на два параллельных потока); $V_{\text{Л}}$ - скорость потока в сборном лотке (принимается 0,6 м/с).

Для определения глубины потока воды $h_{\text{Л}}$ в лотке задаемся шириной лотка $b_{\text{Л}}$. Ширина лотка принимается конструктивно в зависимости от условий: $b_{\text{Лmin}} = 300$ мм, $b_{\text{Лmax}} = 800$ мм. Тогда $h_{\text{Л}}$ определится по формуле:

$$h_{\text{Л}} = \frac{\omega_{\text{Л}}}{b_{\text{Л}}}, \text{ м.} \qquad (7.17)$$

Дно лотка выполняется с уклоном $i = 0{,}02$ в сторону сборного кармана.

Площадь всех затопленных отверстий определяется по формуле:

$$F_0 = \frac{Q_C}{V_0 \cdot 3600}, \text{ м}^2, \tag{7.18}$$

где V_0 - скорость движения воды через отверстия ($V_0 = 1$ м/с).

Общее количество отверстий рассчитывается по формуле:

$$n_0 = \frac{F_0}{f_0}, \text{ шт}, \tag{7.19}$$

где f_0 - площадь одного отверстия, м^2.

Шаг между осями отверстий определяется по формуле:

$$S_0 = \frac{P}{n_0}, \text{ м}, \tag{7.20}$$

где P - смоченный периметр смесителя, м.

Размеры сборного кармана принимаются конструктивно. Сборный карман должен обеспечить: отвод воды на последующее сооружение, конструктивное оформление примыкания отводного трубопровода, создать необходимый подпор воды.

При работе фильтров с постоянной скоростью фильтрования после расчета очистных сооружений необходимо учесть повышение уровня воды в смесителе при промывке фильтров или контактных осветлителей. Уровень воды в смесителе повысится на величину $h_{\text{доп}}$, при этом он должен находиться ниже кромки переливной трубы:

$$h_{\text{доп}} = \frac{W'}{\sum F}, \text{ м}, \tag{7.21}$$

где $\sum F$ - суммарная площадь фильтров принимающих дополнительный объем воды при промывке, м^2; W' - объем воды, накапливающийся за время одной операции при промывке фильтра.

Дополнительный объем воды определяется по формуле:

$$W' = \frac{Q_1}{t \cdot 60}, \text{ м}^3, \qquad (7.22)$$

где Q_1 - часовой расход воды, приходящийся на один фильтр, м^3/ч; t – время, затрачиваемое на промывку и простой фильтра, мин.

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 (рис. 7.3). Применяются дырчатые смесители на станциях водоподготовки производительностью до 20–24 тыс. м^3/сут [9]. 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.

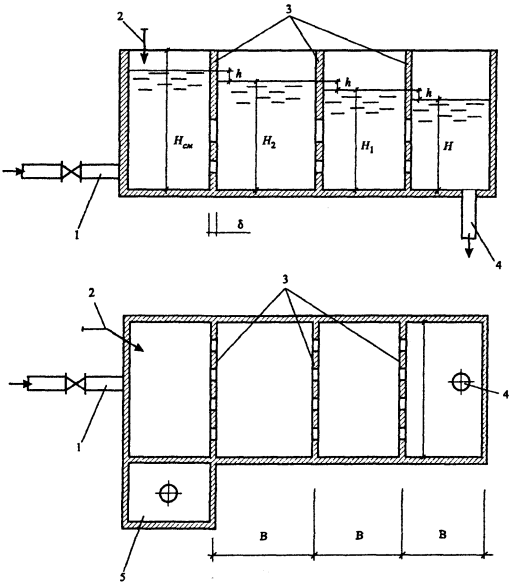


Рис. 7.3. Дырчатый смеситель:
1 - трубопровод подачи воды на смеситель; 2 - трубопровод ввода реагентов; 3 - дырчатые перегородки; 4 - трубопровод отвода воды; 5 - переливной карман

Задаемся глубиной потока воды H в конце смесителя (обычно $H = 0{,}4\text{-}0{,}5$ м).

Расход воды на один смеситель Q_C определяется по формуле:

$$Q_C = \frac{Q}{n}, \text{ м}^3/\text{ч}, \tag{7.23}$$

где Q - полный расход воды на станции с учетом собственных нужд станции, м^3/ч; n - количество смесителей.

Ширина лотка определяется по скорости движения воды, которую принимают $V_л \geq 0{,}6$ м/с.

Тогда ширина лотка определится по формуле:

$$B = \frac{F_{СМ}}{H}, \text{ м}, \tag{7.24}$$

где $F_{СМ}$ – площадь смоченного сечения смесителя, м^2.

Площадь смоченного сечения смесителя определяется по формуле:

$$F_{СМ} = \frac{Q_C}{V_л \cdot 3600}, \text{ м}^2. \tag{7.25}$$

Расстояния между перегородками принимаются не меньше ширины лотка.

Задаются диаметрами отверстий d_0 в перегородках в пределах: 20 мм - для станций небольшой производительности; 100 мм - для станций производительностью >20000 м^3/сут.

Число отверстий в каждой перегородке определяется по формуле:

$$n = \frac{4Q_C}{V_0 \cdot \pi \cdot d_0^2}, \text{ шт}, \tag{7.26}$$

где V_0 - скорость движения воды в отверстиях ($V_0 = 1$ м/с); d_0 - диаметр отверстий, м.

Отверстия располагают на затопленной водой части перегородки. Верхний ряд отверстий должен быть на глубине 0,1–0,15 м. Суммарная площадь отверстий в каждой перегородке не должна превышать 30% ее рабочей площади.

Потеря напора при прохождении воды через отверстия перегородки определяется по формуле:

$$h = \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot \mu^2}, \text{ м}, \tag{7.27}$$

где $g = 9{,}81$; μ - коэффициент расхода, зависящий от отношения диаметра отверстия d_0 к толщине перегородки, принимается в пределах 0,65 - 0,75 ($\mu = 0{,}65$ при $d_0 / \delta = 2$ и $\mu = 0{,}75$ при $d_0 / \delta = 1$).

Уровень воды между третьей и второй перегородками H_1, между второй и первой H_2 определяется по формулам:

$$H_1 = H + h, \text{ м}; \tag{7.28}$$

$$H_2 = H + 2h, \text{ м}. \tag{7.29}$$

Общая высота смесителя определяется по выражению:

$$H_{см} = H_2 + h + h_{стр}, \text{ м}, \tag{7.30}$$

где $h_{стр}$ - высота строительного борта принимается 0,3 - 0,5 м.

Расчет смесителя перегородчатого типа

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 (рис. 7.4). 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 $h_з = 0{,}1$–$0{,}15$ м в целях предотвращения засасывания воздуха.

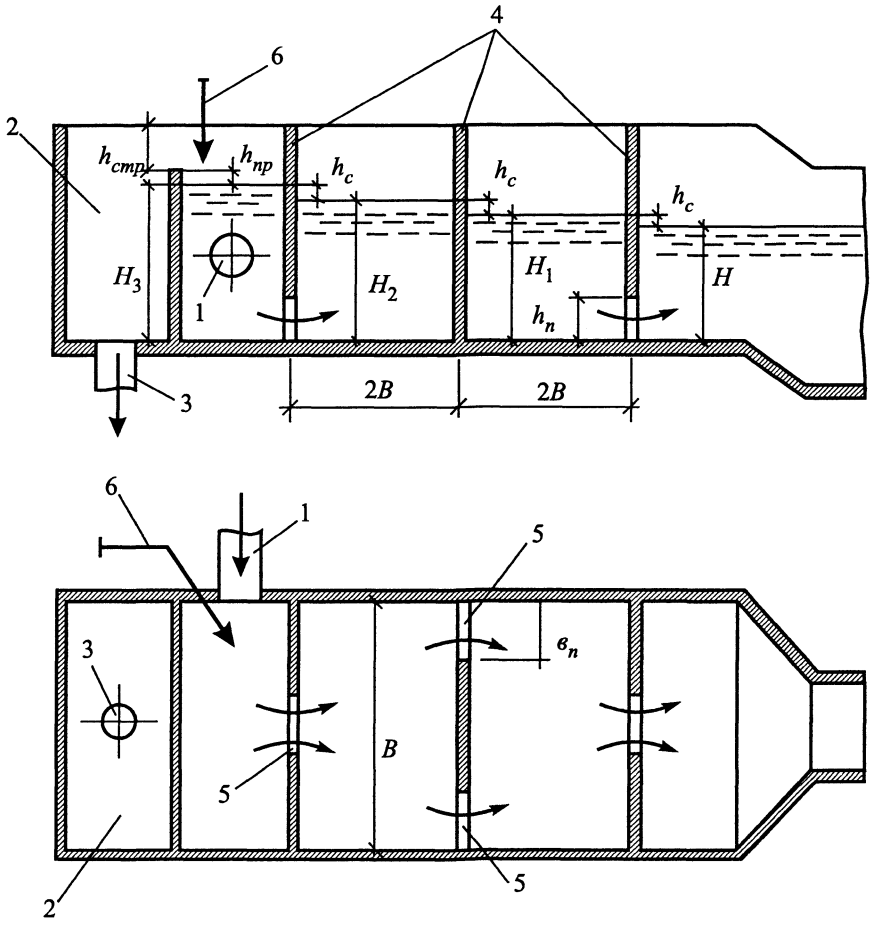


Рис. 7.4. Перегородчатый смеситель:

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

Расчет перегородчатого смесителя проводится в следующем порядке [9].

Число вертикальных перегородок принимают не более трех.

Расход воды на один смеситель Q_C определяют по формуле:

$$Q_C = \frac{Q}{n}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (7.31)$$

где Q - полный расход воды на станции с учетом собственных нужд станции, м^3/ч; n - количество смесителей.

Задаются глубиной потока воды в конце смесителя (обычно $H = 0{,}4$–$0{,}6$ м).

Ширина лотка B определяется по скорости движения воды, которую принимают $V_{\text{Л}} \geq 0{,}6$ м/с. Тогда ширина лотка определится по формуле:

$$B = \frac{F_{\text{СМ}}}{H}, \text{ м}, \tag{7.32}$$

где $F_{\text{СМ}}$ - площадь смоченного сечения смесителя, м^2, определяемая из выражения $F_{\text{СМ}} = \dfrac{Q_{\text{С}}}{V_{\text{Л}} \cdot 3600}$.

Расстояния между перегородками принимаются равными двойной ширине лотка.

Потеря напора в каждом проходе $h_{\text{с}}$ принимается равной 0,13–0,15 м при скорости движения воды в проемах $V_{\text{П}} = 1$ м/с.

Уровень воды в каждом последующем проеме из-за потерь напора уменьшается. Для снижения скорости движения воды ширина проемов должна увеличиваться. Ширина каждого проема $b_{\text{П}}$ определяется по формуле:

$$b_{\text{П}} = \frac{Q_{\text{С}}}{n \cdot h_{\text{П}} \cdot V_{\text{П}}}, \text{ м}, \tag{7.33}$$

где n -количество проходов в перегородке; $h_{\text{П}} = H - h_{\text{з}}$ - высота прохода, м.

Высота слоя воды перед каждой перегородкой определяется из выражений:

- перед первой перегородкой (в конце смесителя):

$$H = 0{,}4 - 0{,}6, \text{ м},$$

- перед второй перегородкой:

$$H_1 = H + h_{\text{с}}, \text{ м},$$

- перед третьей перегородкой:

$$H_2 = H + 2h_c, \text{ м},$$

- перед передней стенкой смесителя:

$$H_з = H + 3h_c, \text{ м}.$$

Высота передней (переливной) стенки смесителя принимается равной

$$H_c = H_з + h_п, \text{ м}, \quad (7.34)$$

где $h_п$ – превышение водослива над расчетным уровнем воды (0,1-0,2 м).

Общая высота смесителя определяется:

$$H_{см} = H_c + h_{стр}, \text{ м}, \quad (7.35)$$

где $h_{стр}$ – высота строительного борта (0,3-0,5 м).

Расчет механического смесителя пропеллерного типа

Принцип действия механического смесителя пропеллерного типа (рис. 7.5) основан на поступательно-вращательном движении воды, сообщаемой ей пропеллером винтового типа.

Расчет механического смесителя сводится к определению объема камеры, мощности и диаметра мешалки и осуществляется в следующем порядке.

Часовая производительность одного смесителя Q_c определяется по формуле:

$$Q_c = \frac{Q}{n}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7.36)$$

где Q - часовая производительность станции с учетом собственных нужд, м^3/ч; n - количество смесителей.

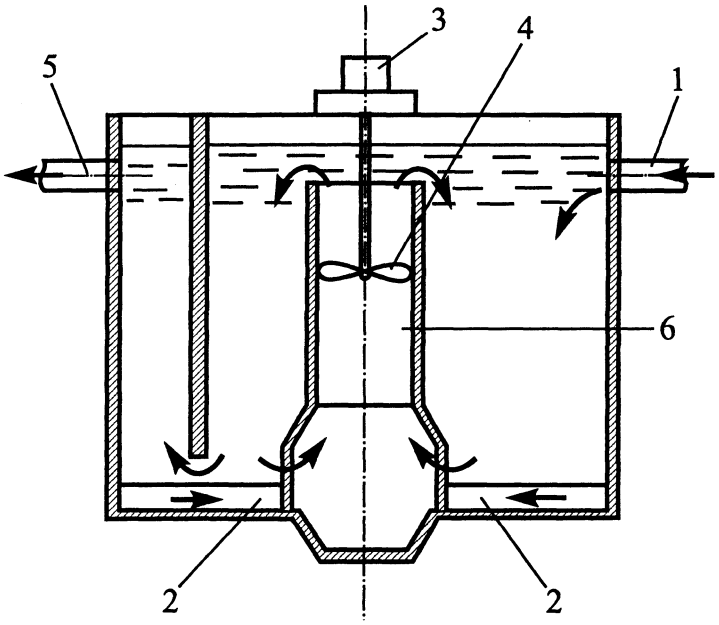


Рис. 7.5. Механический смеситель пропеллерного типа:
1 - трубопровод подачи воды на смеситель; 2 - трубопровод ввода реагентов; 3 - электродвигатель; 4 - лопастной винт; 5 - трубопровод отвода воды со смесителя; 6 - смесительная камера

Объем резервуара смесительной камеры W принимается равным 1–2-минутному расчетному расходу воды и определяется по формуле:

$$W = \frac{Q_c \cdot t}{60}, \text{ м}^3, \tag{7.37}$$

где t - время пребывания воды в резервуаре смесительной камеры, мин.

Количество просасываемой пропеллером воды в смесителе за одну секунду определяется по формуле:

$$Q_П = \frac{W \cdot Z}{t \cdot 60}, \text{ м}^3/\text{с}, \tag{7.38}$$

где Z - водообмен в смесительной камере за одну минуту (принимают 5 - 10).

Площадь, охваченная пропеллером, будет равна:

$$F = \frac{Q_{\text{П}}}{V_0}, \text{ м}^2, \tag{7.39}$$

где V_0 - скорость просасывания воды через пропеллер (принимается 1,5 - 2,0 м/с).

Диаметр пропеллера определяется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{0{,}94 \cdot \text{p}}}, \text{ м.} \tag{7.40}$$

Напор, развиваемый пропеллером, определяется по формуле:

$$H = \frac{1}{\eta_{\text{П}}}\left(h + \frac{V_0^2}{2 \cdot g}\right), \text{ м,} \tag{7.41}$$

где $\eta_{\text{П}}$ – гидравлический КПД пропеллера, равный 0,8–0,9; h - потери напора в местных сопротивлениях, принимаются 0,2 м.

Мощность на оси пропеллера определяется из выражения:

$$N_0 = \frac{g \cdot Q_{П} \cdot H}{\eta_0}, \text{ кВт,} \tag{7.42}$$

где η_0 – КПД пропеллера, равный 0,7–0,8.

Мощность электромотора определяется по формуле:

$$N_{\text{М}} = \frac{N_0}{\eta_{\text{М}}}, \text{ кВт,} \tag{7.43}$$

где $\eta_{\text{М}}$ – КПД передачи от мотора к мешалке (принимается в зависимости от типа передачи в пределах 0,6 - 0,95).

Число оборотов пропеллера определяется по формуле:

$$n_{\text{М}} = \frac{27{,}2 \cdot V_0}{D \cdot \text{tg}\varphi \cdot \cos^2 \varphi}, \text{ об/мин,} \tag{7.44}$$

где φ - угол наклона лопасти винта (принимается равным 22°).

Встроенные камеры хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка

В практике очистки воды средней мутности и мутных вод значительное распространение получили встроенные камеры хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка. Их устраивают непосредственно в передней части горизонтальных отстойников.

Камеры представляют собой прямоугольные железобетонные резервуары (рис. 7.6) с вертикальными поперечными перегородками и пирамидально-гребенчатым днищем.

Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования со взвешенным осадком предусматривают с помощью напорных перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз под углом 45°. Расстояние между перфорированными трубами рекомендуется принимать 2 м, от стенки камеры - 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 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.

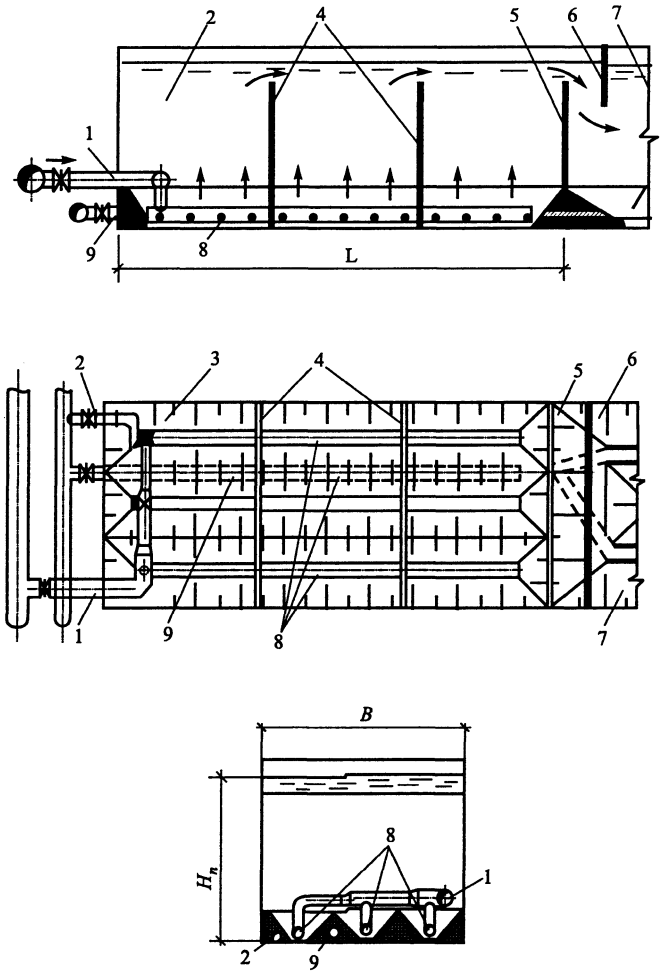


Рис. 7.6. Встроенная камера хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка:
1 - подача воды; 2 - трубопровод опорожнения; 3 - камера хлопьеобразования; 4 - поперечные перегородки; 5 - водослив; 6 - полупогружная перегородка; 7 - горизонтальный отстойник; 8 - водораспределительные трубы; 9 - сброс осадка из отстойника

Расчет камер хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка, встроенных в горизонтальные отстойники, рекомендуется вести в следующей последовательности [9, 10].

Площадь в плане всех камер хлопьеобразования определяется по формуле:

$$F = \frac{q_ч}{3600 \cdot V}, \text{ м}^2, \quad (7.45)$$

где $q_ч$ - часовой расход воды, м^3/ч; V - скорость восходящего потока воды, м/с.

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

Площадь одной камеры составит:

$$F_1 = F : N_р, \text{ м}^2, \quad (7.46)$$

где $N_р$ – число рабочих камер, шт.

Длина камеры определяется по выражению:

$$L = F_1 : B, \text{ м}, \quad (7.47)$$

где B - ширина камеры, м (принимается равной ширине отстойника).

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

$$H_к = H_р + h, \text{ м}, \quad (7.48)$$

где $H_р$ - средняя глубина отстойника; h - превышение уровня воды в камере ($h \approx 0{,}05$ м).

Полная высота камеры хлопьеобразования принимается равной высоте отстойника.

Время пребывания воды в камере в среднем составит:

$$t = \frac{H_к}{60 \cdot V}, \text{ мин}. \quad (7.49)$$

Расход воды, приходящийся на каждую камеру, составит:

$$q_к = \frac{q_ч}{3{,}6 \cdot N_р}, \text{ л/с}. \quad (7.50)$$

Днище конструктивно выполняется пирамидально-гребенчатым. Распределение воды по площади камеры хлопьеобразования предусматривается с помощью перфорированных труб с отверстиями, направленными вниз

под углом 45°. Расстояние между трубами рекомендуется 2 м, от стен камер - 1м. Расход воды, приходящийся на одну трубу, составит:

$$q_{тр} = q_к : n \text{, л/с.} \tag{7.51}$$

Площадь отверстий в стенках трубы принимается равной 30-40% площади ее поперечного сечения, что составит:

$$\sum f_0 = (0{,}3 - 0{,}4)\frac{\pi \cdot D^2}{4} \text{, м}^2, \tag{7.52}$$

где D – диаметр трубы, м.

При принятом диаметре отверстий (d_0 не менее 25 мм и площади f_0, м^2) необходимое количество отверстий в каждой трубе составит:

$$n_0 = \sum f_0 : f_0 \text{, шт.} \tag{7.53}$$

Дно камер хлопьеобразования у торцевых стенок выполняется с откосами. Шаг оси отверстий составит:

$$l_0 = 2L' : n_0 \text{, м,} \tag{7.54}$$

где L' -рабочая длина распределительного трубопровода.

Отвод воды из камеры хлопьеобразования в отстойник (рис. 7.7) предусматривается через затопленный водослив. Верх стенки водослива располагается ниже уровня воды в камере на величину:

$$h_в = \frac{q_к}{V_в \cdot B} \text{, м.} \tag{7.55}$$

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

$$h_п = H_р : 4 \text{, м.} \tag{7.56}$$

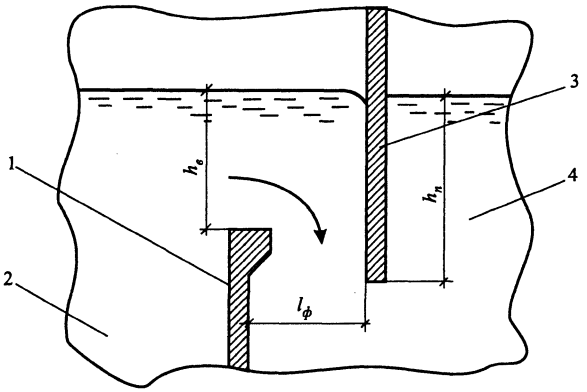


Рис. 7.7. Переход камеры хлопьеобразования в отстойник:
1 - водослив; 2 - камера хлопьеобразования; 3 - полупогружная перегородка; 4 - горизонтальный отстойник

Минимальное расстояние между водосливом и перегородкой при наибольшей скорости движения воды между ними равно:

$$l = \frac{q_к}{V_п \cdot B}, \text{ м.} \qquad (7.57)$$

Принимается расстояние между водосливом и перегородкой $l_ф$, при котором определяется фактическая скорость

$$V_ф = \frac{q_к}{B \cdot l_ф}, \text{ м/с.} \qquad (7.58)$$

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.

Вихревые камеры хлопьеобразования

Они 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.

Вихревые камеры хлопьеобразования (рис.7.8) 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 вод).

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

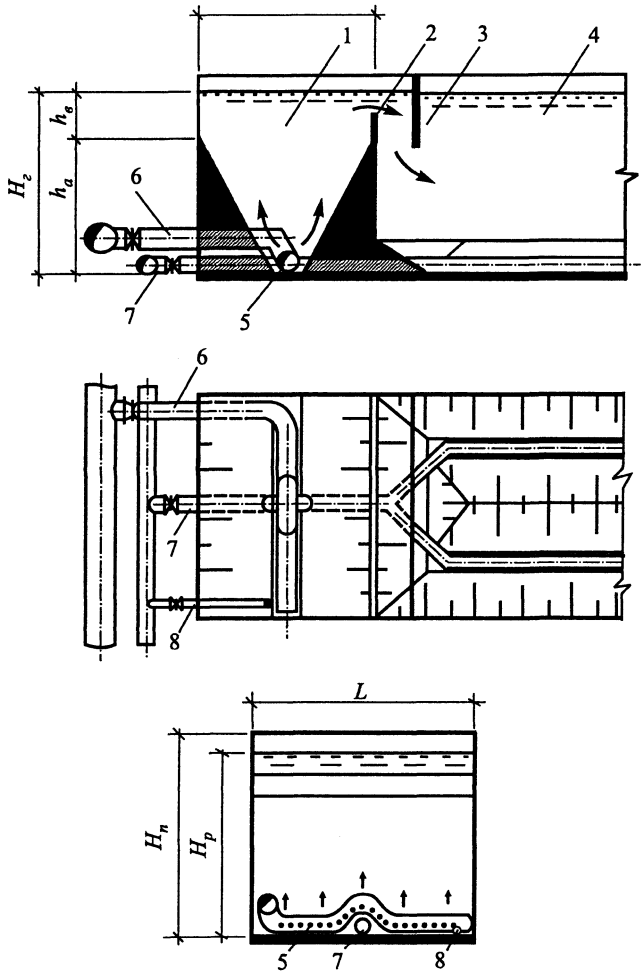


Рис. 7.8. Вихревая камера хлопьеобразования:
1 - камера хлопьеобразования; 2 - водослив; 3 - полупогружная перегородка; 4 - горизонтальный отстойник; 5 - распределительный трубопровод; 6 - подача воды в камеру; 7 – удаление осадка из отстойника; 8 - опорожнение камеры

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 вод.

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

Общий объем камер определяется по формуле:

$$W = \frac{q_ч \cdot t}{60}, \text{ м}^3, \tag{7.59}$$

где $q_ч$ – часовой расход воды, м^3/ч; t – время пребывания воды в камере, мин.

Количество рабочих камер принимается равным числу горизонтальных отстойников. Длина камер и их количество увязываются с размерами и количеством отстойников.

Суммарная площадь камер хлопьеобразования в верхнем сечении определяется по формуле:

$$F = \frac{q_ч}{3{,}6 \cdot V}, \text{ м}^2, \tag{7.60}$$

где V – скорость восходящего потока на выходе из камеры, мм/с.

Площадь одной камеры определяется из выражения:

$$F_1 = F : N_р, \text{ м}^2, \tag{7.61}$$

где $N_р$ – расчетное число камер, шт.

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

$$B = F_1 : L, \text{ м}, \tag{7.62}$$

где L – длина стороны камеры в чистоте, м.

Нагрузка по воде на одну камеру определяется по формуле:

$$q_к = \frac{q_ч}{3{,}6 \cdot N_р}, \text{ л/с}. \tag{7.63}$$

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

Суммарная площадь отверстий в одной камере составит:

$$\sum f_0 = \frac{q_к}{V_0}, \text{ м}^2, \tag{7.64}$$

где V_0 –скорость выхода воды из отверстий, м/с.

При принятом диаметре отверстий (d_0 не менее 25мм и площади f_0, м^2) необходимое количество отверстий в трубопроводе составит:

$$n_0 = \sum f_0 : f, \text{ шт.} \tag{7.65}$$

Отверстия располагаются в шахматном порядке, расстояние между осями которых равно:

$$L_0 = 2L' : n_0, \text{ м}, \tag{7.66}$$

где L' - длина распределительного трубопровода, м.

Камеры хлопьеобразования принимаются комбинированного типа: с вертикальными и наклонными стенками по продольной оси. Высота конической части определяется по формуле:

$$h_к = \frac{B-b}{2\text{tg}\frac{\alpha}{2}}, \text{ м}, \tag{7.67}$$

где B – ширина камеры хлопьеобразования в верхнем сечении, м; b – ширина камеры по дну, м; α – угол между наклонными стенками, град.

Объем конической части камеры будет равен

$$W_к = \frac{(B+b)\cdot h_к}{2} \cdot L, \text{ м}^3. \tag{7.68}$$

Рабочий объем одной камеры хлопьеобразования составит:

$$W_1 = W : N_р, \text{ м}^3. \tag{7.69}$$

Объем верхней части камеры с вертикальными стенками равен

$$W_{в} = W_{1} - W_{к}, \text{ м}^3. \quad (7.70)$$

При высоте вертикальной стенки, определяемой по формуле:

$$h_{в} = \frac{W_{в}}{B \cdot L}, \text{ м}. \quad (7.71)$$

Рабочая глубина камеры хлопьеобразования определится:

$$H_{р} = h_{к} + h_{в}, \text{ м}. \quad (7.72)$$

С учетом строительного борта полная глубина камеры будет равна:

$$H_{п} = H_{р} + h_{стр}, \text{ м}. \quad (7.73)$$

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

$$h_{с} = \frac{q_{к}}{V_{в} \cdot B}, \text{ м}. \quad (7.74)$$

где $V_{в}$ – скорость отвода воды, м/с.

За стенкой водослива проектируется подвесная перегородка, отклоняющая поток воды к низу. Она погружена на 1/4 высоты отстойника, что составит:

$$h_{п} = H_{р} : 4, \text{ м}. \quad (7.75)$$

Минимальное расстояние между водосливом и перегородкой при наибольшей скорости движения воды между ними составит:

$$l = \frac{q_{к}}{V_{п} \cdot B}, \text{ м}. \quad (7.76)$$

При фактически принятом расстоянии между водосливом и перегородкой определяют действительную скорость:

$$V_{ф} = \frac{q_{к}}{B \cdot l_{ф}}, \text{ м/с.} \qquad (7.77)$$

где $l_{ф}$ – принятое расстояние между водосливом и перегородкой, м.

Для улучшения гидравлического режима восходящего потока предусматривают две поперечные перегородки, рассекающие камеру на равные отделения.

Для непосредственного контроля и наблюдения за процессом формирования хлопьев проектируется смотровой павильон. В каждой камере предусматривается трубопровод опорожнения.

Перегородчатые камеры хлопьеобразования

Перегородчатая камера хлопьеобразования, 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 0,05–0,1м/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 определяется 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 вод 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).

Потерю напора на одном повороте камеры определяют по формуле:

$$h = \xi \frac{V^2}{2g}, \text{ м,} \qquad (7.78)$$

где ξ - коэффициент сопротивления, принимаемый равным 2,9; V - скорость движения воды на повороте, м/с.

Потери на поворотах учитываются при определении общих потерь напора в камере.

Глава 8. Обработка природных вод отстаиванием

8.1. Назначение и сущность метода отстаивания

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 [9–11].

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.

8.2. Конструкции отстойников и их расчет

Горизонтальные отстойники

Горизонтальный отстойник (рис. 8.1) 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.

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.

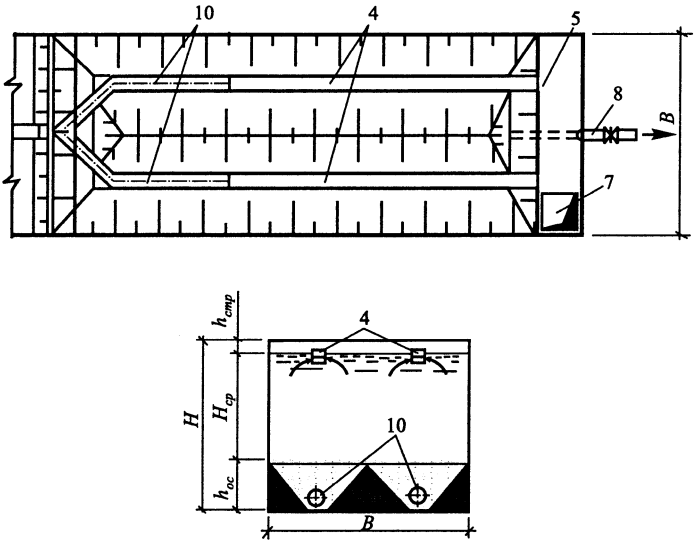


Рис. 8.1. Горизонтальный отстойник:

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

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

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% более, чем указано в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Расчетная скорость осаждения взвеси в отстойнике

Характеристика обрабатываемой воды и способ обработки	Скорость выпадания взвеси U_0, задерживаемой отстойниками, мм/с
Маломутные цветные воды, обрабатываемые коагулянтом	0,35 - 0,45

Продолжение таблицы 8.1

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 зоны осаждения и зоны 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 сис-

темы 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 удалении осадка; 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.

Проектирование горизонтальных отстойников

Расчет горизонтальных отстойников рекомендуется вести в следующей последовательности.

Площадь отстойников в плане определяется по формуле:

$$F_{\text{г.о.}} = \frac{q_{\text{ч}} \cdot \alpha}{3{,}6 \cdot U_0}, \text{ м}^2, \qquad (8.1)$$

где $q_ч$ – производительность станции, м^3/ч; α – коэффициент объемного использования отстойников, принимаемый равным 1,3; U_0 - скорость выпадания взвеси, мм/с, принимаемая по табл. 8.1.

Длина отстойников определяется по формуле:

$$L = \frac{H_{ср} \cdot V_{ср}}{U_0}, \text{ м}, \tag{8.2}$$

где $H_{ср}$ – средняя высота зоны осаждения (принимается равной 3–3,5 м, в зависимости от высотной схемы станции); $V_{ср}$ – 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.

Тогда количество рабочих отстойников составит:

$$N_р = \frac{F_{г.о.}}{L \cdot B}, \text{ шт.} \tag{8.3}$$

Рабочая глубина отстойника равна:

$$H_р = H_{ср} + h_{ос}, \text{ м}, \tag{8.4}$$

где $H_{ср}$ – средняя высота зоны осаждения, м; $h_{ос}$ – высота зоны накопления и уплотнения осадка, м.

С учетом высоты строительного борта полная высота отстойника составит:

$$H = H_р + h_{стр}, \text{ м}, \tag{8.5}$$

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

Площадь одного отстойника в плане равна:

$$F_1 = B \cdot L, \text{ м}^2. \tag{8.6}$$

При принятой высоте зоны накопления и уплотнения осадка ($h_{ос}$ = 1,0-1,5м) объем осадочной части отстойника составит:

$$W_{ос.ч} = 0{,}7 \cdot F_1 \cdot h_{ос}\ , м^3, \qquad (8.7)$$

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

Период работы отстойника между сбросами осадка определяется по формуле:

$$T_р = \frac{W_{ос.ч} \cdot N_р \cdot \delta}{q_ч \cdot (C_в - M_{осв})}, ч, \qquad (8.8)$$

где $W_{ос.ч}$ – объем зоны накопления и уплотнения осадка, м^3; $N_р$ – количество рабочих отстойников; $M_{осв}$ - мутность воды, выходящей из отстойника, принимается от 8 до 15 г/м^3; δ - средняя по всей высоте осадочной части концентрация твердой фазы осадка, г/м^3, в зависимости от мутности воды и продолжительности интервалов между сбросами, принимаемая по данным табл. 8.2; $C_в$ – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающих в отстойник (с учетом мутности и цветности исходной воды, нерастворимых веществ, вводимых с реагентами), г/м^3.

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 табл. 8.2.

Таблица 8.2

Средняя концентрация твердой фазы осадочной части отстойника

Мутность исходной воды, мг/л	Применяемые реагенты	Средняя по высоте осадочной части отстойника концентрация твердой фазы в осадке, г/м^3, при интервалах между сбросами, ч		
		6	12	24 и более
до 50	коагулянт	9000	12000	15000
св. 50 до 100	-//-	12000	16000	20000
св. 100 до 400	-//-	20000	32000	40000
св. 400 до 1000	-//-	35000	50000	60000
св. 1000 до 1500	-//-	80000	100000	120000
св. 1500	флокулянт	90000	140000	160000
св. 1500	без реагентов	200000	250000	300000

Объем зоны осаждения одного отстойника составит:

$$W_{з.о} = B \cdot H_{ср} \cdot L, \text{ м}^3. \quad (8.9)$$

При рабочем объеме одного отстойника, равном

$$W_1 = W_{з.о} + W_{ос.ч}, \text{м}^3, \quad (8.10)$$

время пребывания воды в отстойнике в среднем составит:

$$t = \frac{W_1 \cdot N_р}{q_ч}, \text{ ч.} \quad (8.11)$$

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

Количество воды, сбрасываемой из отстойника вместе с осадком, определяется с учетом коэффициента разбавления ($K_р = 1{,}5$) при продолжительности сброса осадка ($t_с = 20 - 30$ мин).

$$q_{ос} = \frac{W_{ос.ч} \cdot K_р}{t_с \cdot 60}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8.12)$$

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 $q^1_{ос}$ скорость движения воды с осадком в конце трубы составит:

$$V = \frac{4q^1_{ос}}{\pi D^2}, \text{ м/с}. \quad (8.13)$$

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 составит:

$$\sum f_0 = 0{,}7\frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (8.14)$$

При принятом диаметре отверстий (d_0 не менее 25 мм и площади f_0, м^2) требуемое количество отверстий составит:

$$n_0 = \sum f_0 : f_0, \text{ шт.} \quad (8.15)$$

Скорость движения осадка в отверстиях определяется по формуле:

$$V_0 = \frac{q^1_{oc}}{f_0 \cdot n_0}, \text{ м/с.} \quad (8.16)$$

Отверстия располагаются в шахматном порядке вниз под углом 45° к оси трубы. Тогда шаг оси отверстий составит:

$$l_0 = 2L' : n_0, \text{ м,} \quad (8.17)$$

где L' - длина дырчатого трубопровода, м.

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, составит:

$$q_{ж} = \frac{q_{ч}}{3600 \cdot N_{р} \cdot n_{ж}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8.18)$$

Скорость движения воды в отверстиях принимается 1 м/с. Тогда суммарная площадь отверстий в желобе:

$$\sum f_0 = q_{ж} : V_0 : V_0, \text{ м}^2. \quad (8.19)$$

Количество отверстий при d_0 не менее 25 мм и площади f_0, м^2:

$$n_0 = \sum f_0 : f_0, \text{ шт}. \quad (8.20)$$

При длине желоба $L_{ж}$ шаг оси отверстий равен:

$$l_0 = 2L_{ж} : n_0, \text{ м}. \quad (8.21)$$

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 составит:

$$\omega = q_{ж} : V_{ж}, \text{ м}^2. \quad (8.22)$$

При ширине желоба ($b_{ж}$ =0,3-0,5 м) высота слоя воды:

$$h_{ж} = \omega : b_{ж}, \text{ м}. \quad (8.23)$$

Верх желоба с затопленными отверстиями располагают на 10 см выше максимального уровня воды и отстойнике. Разность уровней в отстойнике и сборном желобе определяют по формуле:

$$h = \frac{1}{2q}\sqrt{\frac{q_0}{\mu \cdot f_0}}, \text{ м}, \quad (8.24)$$

где q_0 - расход воды через отверстие, м^3/с; μ - коэффициент расхода, принимаемый 0,62.

Расход воды через отверстие определяют по формуле:

$$q_0 = \frac{q_ж}{n_0}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8.25)$$

Регулирование отбора воды предусматривается шиберами.

Из желобов осветленная вода поступает в сборный двухэтажный канал рис. 8.2 (шириной в чистоте – $B_к$). 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.

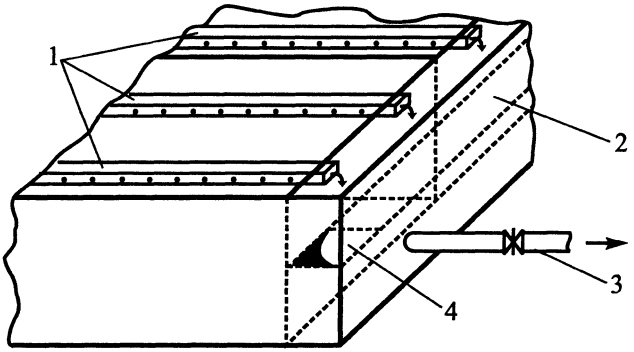


Рис. 8.2. Сборный канал:
1 - желоба; 2 - сборный двухэтажный канал; 3 - отвод воды на фильтры; 4 - проем

Компоновка отстойников предполагает объединение их в единый блок. Размер проема в чистоте принимается исходя из скорости 0,2-0,4 м/с и при площади $f_п$, м^2, скорость движения воды через проем составит:

$$V_п = \frac{q_ч}{3600 \cdot f_п}, \text{ м/с}. \quad (8.26)$$

Для обеспечения свободного излива из сборных желобов расчетный уровень воды в канале принимается на 0,2-0,4 м ниже, чем в отстойнике. Тогда глубина воды в верхней части сборного канала при максимальной скорости движения воды ($V_к = 0{,}4$ м/с) будет равна:

$$h_{min} = \frac{q_ч}{3600 \cdot B_к \cdot V_к}, \text{ м}. \quad (8.27)$$

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. Время полного опорожнения резервуара при переменном напоре в два раза больше времени истечения того же объема воды при постоянном напоре, равном начальному:

$$t_{\text{оп}} = \frac{2W_1}{3600 \cdot q_{\text{оп}}}, \text{ ч}, \qquad (8.28)$$

где W_1 - рабочий объем отстойника, м^3; $q_{\text{оп}}$ - расход сбрасываемой при постоянном напоре воды, м^3/с.

Расход сбрасываемой при постоянном напоре воды равен:

$$q_{\text{оп}} = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2q \cdot H_{\text{р}}}, \qquad (8.29)$$

где μ - коэффициент расхода; ω - площадь поперечного сечения трубы, м^2; $H_{\text{р}}$ - рабочая глубина отстойника.

Для ориентировочных расчетов при истечении жидкости из резервуара в трубу коэффициент расхода можно принять 0,6 [12].

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 съемными крышками.

Вертикальные отстойники с водоворотными камерами хлопьеобразования

Вертикальные отстойники рекомендуется применять в качестве первой ступени на станциях реагентной очистки воды производительностью до 5 тыс. м^3/сут, при мутности исходной воды до 1500 мг/л 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 (рис. 8.3). 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 сегнерова 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.

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.

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 должна соответствовать наибольшему значению:

$$F_{в.о} = \frac{В_{об} \cdot q_ч}{3{,}6 \cdot V_р \cdot N_р}, \text{ м}^2, \qquad (8.30)$$

где $q_ч$ - расчетный расход станции для периодов максимального и минимального суточного водопотребления, м^3/ч; $V_р$ - расчетная скорость восходящего потока, мм/с, принимаемая (при отсутствии данных технологиче-

ских изысканий) не более указанных в табл.8.1; $N_р$ - количество рабочих отстойников; $\beta_{об}$ - 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).

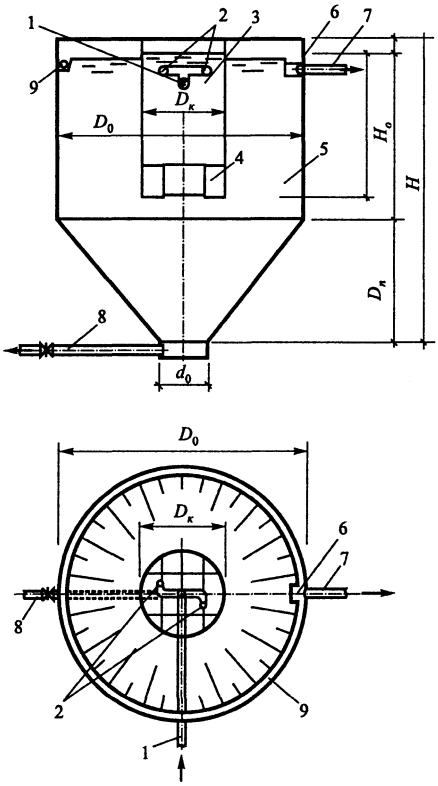


Рис. 8.3. Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования:

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

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

При времени пребывания воды в камере хлопьеобразования t = 15–20 мин и ее высоте $H_к$ = 3,5–4 м площадь камеры определяется по формуле:

$$F_к = \frac{q_ч \cdot t}{60 \cdot H_к \cdot N_р}, \text{ м}^2. \quad (8.31)$$

Камеры принимают круглой в плане формы при диаметре в чистоте:

$$D_к = \sqrt{\frac{4F_к}{р}}, \text{ м}. \quad (8.32)$$

Для гашения вращательного движения воды при ее переходе в отстойник внизу камеры устраивают решетку в виде крестообразной перегородки с ячейками размером 0,5х0,5 м, высотой 0,8 м.

Общая площадь одного отстойника составит:

$$F_0 = F_{в.о} + F_к, \text{ м}^2. \quad (8.33)$$

По условиям компоновки выбираются форма сооружений и размеры в плане.

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.

Потеря напора в сопле определяется по формуле:

$$h = \xi \frac{V^2}{2g}, \text{ м}, \quad (8.34)$$

где ξ - коэффициент сопротивления, принимаемый равным 1,18; V - скорость выхода воды из сопла, м/с.

Зона накопления и уплотнения осадка вертикального отстойника предусматривается с наклонными стенками при угле между ними 70–80°.

При найденном диаметре отстойника (или стороне) и принятом угле конусности днища емкость осадочной части является фиксированной. Поэтому ее лишь проверяют по продолжительности работы отстойника $T_р$ между сбросами осадка, которая должна быть не менее 6 ч. Проверку производят по формуле:

$$T_р = \frac{W_{ос.ч} \cdot N_р \cdot \delta}{q_ч (C_в - M_{осв})}, \text{ ч}, \quad (8.35)$$

где $W_{ос.ч}$ – объем зоны накопления и уплотнения осадка, м^3; δ - средняя концентрация уплотненного осадка, г/м^3; $C_в$ - концентрация взвешенных веществ в воде, г/м^3; $M_{осв}$ - мутность воды, выходящей из отстойника, принимаемая от 8 до 15 г/м^3.

Сбор осветленной воды предусматривается желобами при скорости движения в них воды 0,5–0,6 м/с.

Расчет вертикальных отстойников и камер хлопьеобразования рекомендуется вести в следующей последовательности.

Определяется часовая производительность станции:

$$q_ч = \frac{Q_{сут}^{полн}}{24}, \text{ м}^3/\text{ч}, \tag{8.36}$$

где $Q_{сут}^{полн}$ - полная производительность станции, м^3/сут.

В технологической схеме очистки воды предусмотрены вертикальные отстойники с встроенными камерами хлопьеобразования водоворотного типа.

Расчетную скорость восходящего потока воды в зоне осаждения для обрабатываемой воды принимают по табл. 8.1. Применение флокулянта позволяет увеличить ее на 15–20%, а встроенная камера хлопьеобразования еще на 15%, то в итоге расчетная скорость увеличивается.

По условиям компоновки предусматривается $N_р$ рабочих отстойников и один резервный (при количестве их менее 6).

Площадь зоны осаждения отстойника определяется по формуле:

$$F_{в.о} = \frac{В_{об} \cdot q_ч}{3{,}6 \cdot V_р \cdot N_р}, \text{ м}^2, \tag{8.37}$$

где $\beta_{об}$ -коэффициент объемного использования отстойника.

При принятом времени пребывания воды в камере хлопьеобразования (t = 15–20 мин) и ее высоте ($H_к$ =3,5– 4 м) площадь камеры составит:

$$F_к = \frac{q_ч \cdot t}{60 \cdot H_р \cdot N_р}, \text{ м}^2. \tag{8.38}$$

Центрально расположенная камера хлопьеобразования имеет диаметр в чистоте:

$$D_к = \sqrt{\frac{4F_к}{p}}, \text{ м.} \quad (8.39)$$

Расход воды, приходящийся на один рабочий отстойник, составит:

$$q_1 = \frac{q_ч}{3{,}6 \cdot N_р}, \text{ л/с.} \quad (8.40)$$

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 $q_с = q_1/2$, л/с.

Скорость выхода воды из сопла принятого диаметра $d_с$, мм, составит:

$$V_с = \frac{4q_с}{pd_с^2}, \text{ м/с.} \quad (8.41)$$

Сопла располагаются на расстоянии 0,4 м от стенки на глубине 0,5 м от поверхности воды. Потери напора в них при коэффициенте сопротивления $\xi = 1{,}18$ составят:

$$h = \xi \frac{V^2}{2g}, \text{ м.} \quad (8.42)$$

Для гашения вращательного движения воды при ее переходе в отстойник внизу камеры предусмотрена решетка в виде крестообразной перегородки с ячейками размером 0,5х0,5 м, высотой 0,8 м.

Общая площадь отстойника включает в себя площади зоны осаждения и камеры хлопьеобразования и определяется по формуле:

$$F_0 = F_{в.о} + F_к, \text{ м}^2. \quad (8.43)$$

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

$$D_0 = \sqrt{\frac{4F_o}{\text{p}}}\text{, м.} \qquad (8.44)$$

Расчетная высота камеры хлопьеобразования $H_к$ принимается равной 0,9 высоты зоны осаждения H_0:

$$H_0 = \frac{H_к}{0{,}9}\text{, м.} \qquad (8.45)$$

Проверяется отношение $D_0 : H_0$ и коэффициент объемного использования отстойников $\beta_{об}$ [2].

Зона накопления и уплотнения осадка вертикального отстойника предусматривается с наклонными стенками при угле между ними $\alpha = 70–80°$. В центре осадочной части устроен приямок диаметром $d_п$.

Высота конической части отстойника равна:

$$h_к = \frac{D_0 - d_п}{2\text{tg}\alpha}\text{, м.} \qquad (8.46)$$

При высоте строительного борта полная высота отстойника составит:

$$H = H_0 + h_к + h_{стр}\text{, м.} \qquad (8.47)$$

Объем осадочной конической части определяется по формуле:

$$W_{ос.ч} = \frac{\text{p}h_к}{3}\left[\left(\frac{D_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_п}{2}\right)^2 + \frac{D_0}{2}\cdot\frac{d_п}{2}\right]\text{, м}^3. \qquad (8.48)$$

Период работы отстойника между сбросами осадка определяется по формуле:

$$T_р = \frac{W_{ос.ч}\cdot N_р\cdot\delta}{q_ч(C_в - M_{осв})}\text{, ч,} \qquad (8.49)$$

где $M_{\text{осв}}$ - мутность воды, выходящей из отстойника, принимается: δ - средняя концентрация твердой фазы осадка, г/м^3 (табл. 8.2).

В соответствии с примечанием к табл. 8.2 концентрацию уплотненного осадка увеличивают на 15% в случае использования в технологии водоподготовки флокулянта совместно с коагулянтом.

Количество воды, сбрасываемой из отстойника вместе с осадком, определяется с учетом коэффициента разбавления $K_{\text{р}} = 1{,}5$ при продолжительности сброса осадка $t_{\text{с}}$:

$$q_{\text{ос}} = \frac{W_{\text{ос.ч}} \cdot K_{\text{р}}}{60 t_{\text{с}}}, \text{ л/с.} \qquad (8.50)$$

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

$$V = \frac{4 q_{\text{ос}}}{\text{p} d^2}, \text{ м/с.} \qquad (8.51)$$

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:

$$q_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{ч}}}{3600 N_{\text{р}} \cdot 2}, \text{ м}^3\text{/с.} \qquad (8.52)$$

При скорости движения осветленной воды в конце желоба (0,5-0,6 м/с) площадь живого сечения потока составит:

$$\omega_{\text{ж}} = q_{\text{ж}} : V_{\text{ж}}, \text{ м}^2. \qquad (8.53)$$

При ширине желоба $b_{\text{ж}}$, высота слоя воды составит:

$$h_{\text{ж}} = \omega_{\text{ж}} : b_{\text{ж}}, \text{ м.} \qquad (8.54)$$

Периметр периферийного желоба по внутренней образующей диаметром $D = D_0 - 2b_ж$ составит:

$$P = \pi D, \text{ м.} \tag{8.55}$$

Скорость движения воды в отверстиях принимается не менее 1м/с. Тогда суммарная площадь отверстий в желобе:

$$\sum f_0 = 2q_ж : V_0, \text{ м}^2. \tag{8.56}$$

При принятом диаметре отверстий не менее 25 мм и площади f_0, м^2, количество отверстий в кольцевом желобе составит:

$$n_0 = \sum f_0 : f_0, \text{ шт.} \tag{8.57}$$

Шаг оси отверстий:

$$l_0 = P : n_0, \text{ м.} \tag{8.58}$$

Оси отверстий располагают на 5 см выше дна желоба.

Радиальные отстойники

Они применяются для станций любой производительности для частичного или предварительного осветления высокомутных вод (мутность свыше 1500 мг/л) 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 (рис. 8.4), 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.

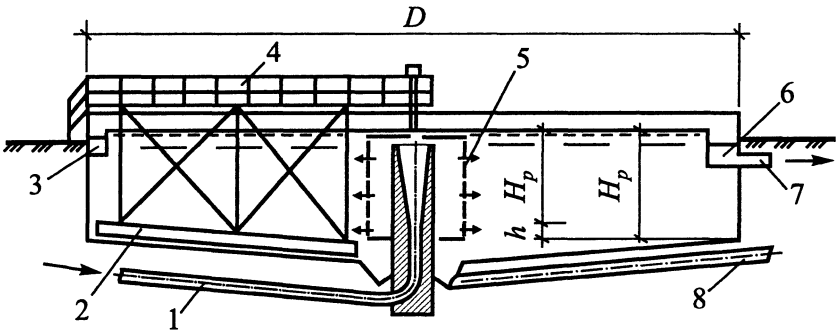


Рис. 8.4. Радиальный отстойник:
1 - подача исходной воды; 2 - скребок; 3 - кольцевой лоток: 4 - вращающаяся ферма; 5 - водораспределительное устройство; 6 - сборный карман; 7 - отвод отстоенной воды; 8 - удаление осадка

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.

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

Проектирование радиальных отстойников

Площадь радиальных отстойников, при их использовании для первой ступени отстаивания высокомутных вод, определяют по формуле:

$$F_{\text{р.о}} = 0{,}2\left(\frac{q}{U_0}\right)^{1{,}07} + f, \text{ м}^2, \qquad (8.59)$$

где q - расчетный расход одного отстойника, м^3/ч; U_0 - скорость выпадения взвеси, принимаемая 0,5–0,6 мм/с; f - площадь вихревой зоны радиального отстойника, м^2.

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.

По вычисленному значению $F_{р.о}$ находят ориентировочный диаметр отстойника по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4F_{р.о}}{р}}, \text{ м.} \qquad (8.60)$$

В целях использования оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью, рекомендуется расчетный диаметр округлять до ближайшего значения соответствующего типового проекта, разработанного для исполнения в сборно-монолитном железобетоне. Днище резервуара выполняется монолитным железобетонным с парными гребнями по периметру стен, в паз между которыми устанавливаются стеновые панели. Основные характеристики этих отстойников приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Характеристики отстойников

Диаметр отстойника, D, мм	Площадь зеркала воды, $F_{р.о}$, м^2	Гидравлическая глубина отстойника, $H_г$, мм	Высота зоны отстаивания, $H_р$, м	Высота зоны осадка, h, мм	Объем зоны отстаивания W_0, м^3	Объем зоны осадка $W_{ос}$, м^3
18000	254	3400	3100	300	788	110
24000	452	3400	3100	300	1400	210
30000	706	3400	3100	300	2190	340
40000	1256	4000	3650	350	4580	710

Вращающиеся фермы со скребками для радиальных отстойников, приведенных в табл. 8.3, 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.

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/л, 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.

Проектирование контактных камер хлопьеобразования

Площадь контактной камеры хлопьеобразования следует определять по удельной нагрузке в расчете на площадь зеркала воды. Удельная нагрузка $V_к$, м^3/(м^2· ч) или м/ч, назначается в зависимости от концентрации взвеси $C_в$, мг/л, с учетом минимальных температур воды в водоисточнике: при $C_в < 5$ $V_к = 7$–10; при $C_в = 5$–10 $V_к = 10$–15; при $C_в = 20$–150 $V_к = 15$–20 ($C_в$ - содержание взвеси в воде, включая образующуюся от коагулянта). Меньшие значения следует принимать для минимальных температур воды. Высота слоя контактной загрузки для вод указанных типов рекомендуется 0,7 м.

В качестве зернистой контактной загрузки камер хлопьеобразования следует использовать полимерные плавающие материалы типа пенопласта

полистирольного марок ПСБ и ПСВ, разрешенных для контакта с питьевой водой, или другие аналогичные материалы.

Крупность зерен загрузки принимается 30–40 мм. Гранулы пенопласта необходимой крупности целесообразно получать путем нарезки плит с помощью нагретой электрическим током нихромовой проволоки диаметром 0,8–1,0 мм. Плиты из пенопласта полистирольного выпускаются в широком ассортименте промышленностью.

Для предотвращения всплытия гранул пенопласта в контактных камерах на уровне верхней кромки затопленного водослива предусматривают закрепленную удерживающую решетку с прозорами на 10 мм менее минимальных размеров зерен загрузки.

Учитывая незначительную объемную массу пенопласта (в 25–50 раз менее, чем воды), удерживающая решетка должна быть рассчитана на выталкивающую силу R, т/м^2, по формуле:

$$R = (\rho_в - \rho_п) \cdot (1 - m) H_п + \rho_в \Delta h, \qquad (8.61)$$

где $\rho_в$ - плотность воды, т/м^3; $\rho_п$ - плотность пенопласта (0,02-0,04 т/м^3); m - пористость загрузки (0,4-0,45); $H_п$ - высота слоя пенопластовой загрузки, м; Δh - расчетный перепад давления в загрузке, м.

Потерю напора (перепад давления) в слое заиленной зернистой контактной загрузки Δh принимают равной 0,05–0,10 м.

В решетке должен быть предусмотрен люк, через который производятся загрузка и выгрузка зернистого материала. Материалом для решетки могут служить арматурные стержни, уголки и т.п. (для них следует предусматривать противокоррозионные покрытия).

Для задержания пенопласта при опорожнении отстойников в нижней части камеры должна быть установлена вторая нижняя решетка с ячейками, аналогичными верхней решетке.

Промывку контактных камер следует осуществлять обратным током воды при кратковременном выпуске ее без остановки станции. Промывку производят периодически при потере напора в камере выше расчетной.

Периодичность промывки зависит от состояния сетчатых защитных устройств на водозаборе или станции водоподготовки и степени загрязненности исходной воды.

Контактные камеры хлопьеобразования следует принимать встроенными в вертикальные и горизонтальные отстойники.

В вертикальных отстойниках контактные камеры располагают в центральной части отстойника. Воду в камеру подают на высоту 0,2–0,3 м над контактной загрузкой (рис. 8.5).

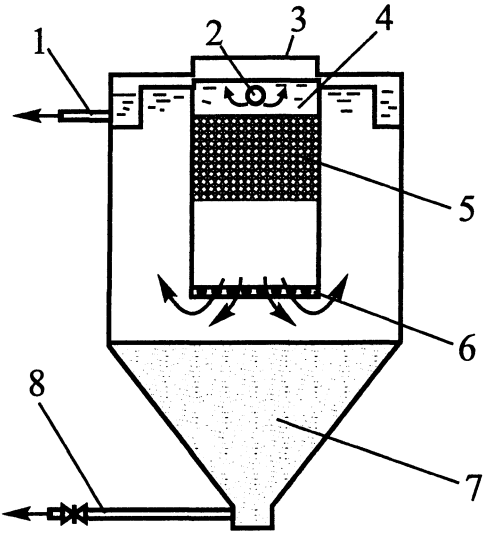


Рис. 8.5. Вертикальный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования:
1 - отвод отстоенной воды; 2 - подача исходной воды; 3 - контактная камера хлопьеобразования; 4 - верхняя решетка: 5 - плавающая загрузка; 6 - нижняя решетка; 7 - зона накопления и уплотнения осадка; 8 - удаление осадка.

При осветлении воды в горизонтальных отстойниках контактные камеры располагают в начале отстойников (рис. 8.6).

Над камерами хлопьеобразования необходимо предусматривать павильон шириной не более 6 м.

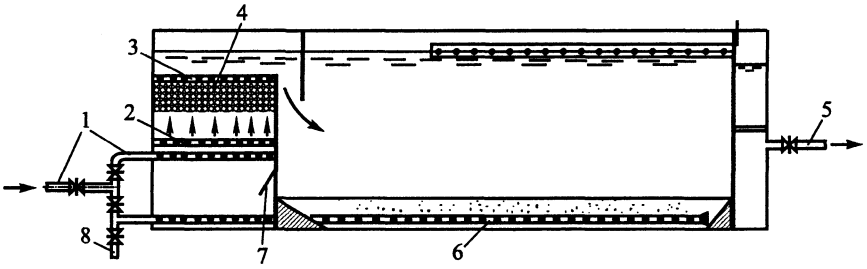


Рис. 8.6. Горизонтальный отстойник с контактной камерой хлопьеобразования:
1 - подача исходной воды; 2 - нижняя решетка; 3 - верхняя решетка; 4 - контактная зернистая загрузка; 5 - отвод осветленной воды; 6 - система удаления осадка из отстойника; 7 - люк для ревизии трубопроводов; 8 - система удаления осадка из камеры

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 к низу.

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.

Днище камеры следует выполнять с углом наклона граней 45°. 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.

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.

Настоящие рекомендации распространяются на сооружения с противоточным движением воды и осадка в тонкослойных элементах.

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 рис. 8.7. 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.

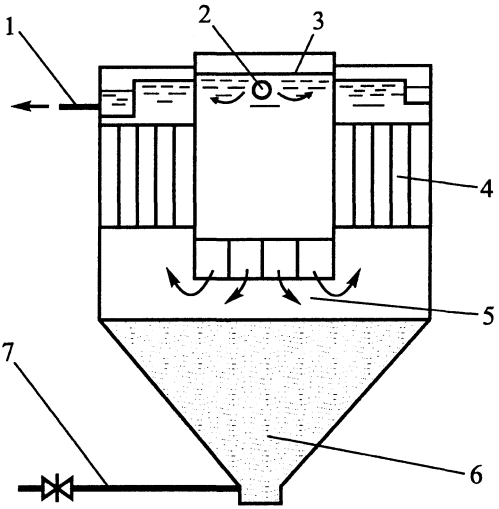


Рис. 8.7. Вертикальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками:
1 - отвод отстоенной воды; 2 - подача исходной воды; 3 - камера хлопьеобразования; 4 - наклонные тонкослойные блоки; 5 - зона распределения воды; 6 - зона накопления осадка; 7 - удаление осадка

В тонкослойном горизонтальном отстойнике (рис. 8.8) 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.

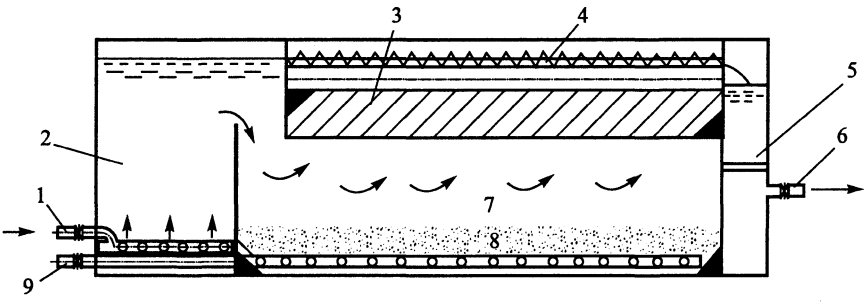


Рис. 8.8. Горизонтальный отстойник, оборудованный тонкослойными блоками:
1 - подача исходной воды; 2 - камера хлопьеобразования; 3 - тонкослойные блоки; 4 - сборные желоба; 5 - канал сбора осветленной воды; 6 - отвод осветленной воды; 7 - зона распределения воды; 8 - зона накопления осадка; 9 - удаление осадка

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 (рис. 8.9).

Размеры в плане отдельных блоков для удобства их монтажа и эксплуатации принимают 1x1 - 1,5x1,5 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, исключающей накопления в них осадка.

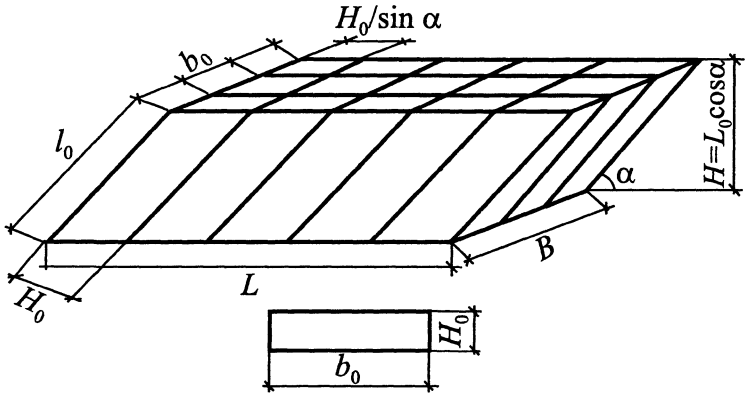


Рис. 8.9. Конструктивные параметры тонкослойных элементов в блоке: l_0 – длина тонкослойного элемента; b_0 – ширина тонкослойного элемента; H_0 – высота тонкослойного элемента; H – высота тонкослойного сотоблока; L – длина тонкослойного сотоблока; B – ширина тонкослойного сотоблока

Рекомендуемый угол наклона элементов 50–60° (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.

Установку отдельных блоков в отстойниках и осветлителях следует осуществлять 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.

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, на-

пример, треугольного профиля, расположенными на расстоянии не более 2 м один от другого.

Расчет технологических и конструктивных параметров сооружений, а также отдельных тонкослойных элементов следует производить по зависимости:

$$l_0 = K_2 H_0 \left(\frac{V_н \cdot K_1}{u_0 \cdot \beta \cdot K_{аг}} - 1 \right),$$

$$K_1 = \frac{1}{K_{ст} \cdot K_{ов} \cdot K_к}, \qquad (8.62)$$

$$K_2 = \frac{\varphi K_ф \cdot K_{ст}}{\sin\alpha \cdot \cos\alpha},$$

где l_0 - длина тонкослойного элемента, м; H_0 - высота тонкослойного элемента, принимаемая 0,03 - 0,05 м; $V_н$ - удельная нагрузка или производительность сооружения в расчете на площадь зеркала воды $м^3/(м^2 \cdot ч)$ или м/ч; u_0 - расчетная скорость осаждения взвеси, м/ч; β - коэффициент, учитывающий стесненное осаждение взвеси под тонкослойными элементами; $K_{аг}$ - коэффициент агломерации, учитывающий влияние осадка, выделяющегося из тонкослойных элементов, на интенсификацию хлопьеобразования; $K_{ст}$ - 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 вод); $K_{ов}$ - коэффициент, учитывающий гидравлическое совершенство тонкослойного сооружения и степень его объемного использования, принимаемый 0,6-0,75; $K_к$ - конструктивный коэффициент, равный отношению фактической открытой для движения воды площади тонкослойных элементов к общей площади зеркала воды отстойного сооружения; α - угол наклона тонкослойных элементов к горизонту, град; $K_ф$ - 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; φ - коэффициент, учитывающий влияние гидродинамических условий потока в тонкослойных элементах, определяется по данным табл. 8,4, в которой b - ширина, H_0 - высота тонкослойного элемента.

Таблица 8.4

Характеристика тонкослойного элемента	Значение b_0 / H_0			
	1,0 - 2,5	2,5 - 5,0	5,0 - 10,0	>10,0
Значение φ	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, – 3–3,5 $м^3/(м^2 \cdot ч)$, средней мутности – 3,6–4, $м^3/(м^2 \cdot ч)$, для мутных вод – 4,6–5,5 $м^3/(м^2 \cdot ч)$.

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. При невозможности указанного значение u_0 определяют согласно табл. 8.1[2,13].

Значение произведения $\beta K_{аг}$ следует принимать равным 1,15–1,3 (большие значения - для тонкослойного осветлителя, меньшие - для тонкослойного вертикального отстойника).

Значение коэффициента $K_к$ определяют по фактическим данным с учетом толщины материала для тонкослойных элементов. Предварительно рекомендуется принимать его равным 0,70–0,95 (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 6–8 ч. При этом высоту защитной зоны для вертикального отстойника следует принимать равной 1,5 м, для горизонтального – 1 м.

Высоту зоны сбора осветленной воды рекомендуется принимать не менее 0,4–0,5 м.

Глава 9. Осветлители природных вод

9.1. Краткие сведения об осветлителях

Метод обработки воды в слое ранее образованного взвешенного осадка широко используют в технологии ее осветления, обесцвечивания, умягчения, дефторирования, обезжелезивания и обескремнивания. Первые водоочистные сооружения, работающие по этому принципу, были разработаны Е. Н. Тетеркиным и Сполдингом и получили название суспензионных сепараторов, пресипитаторов, акселерейторов, осветлителей со слоем взвешенного осадка.

Осветлители со слоем взвешенного осадка, применяемые как сооружения первой ступени водоподготовки, могут успешно работать только при условии предварительной обработки примесей воды коагулянтом или флокулянтом, при этом обеспечивается более высокий эффект осветления воды (до 5–8 мг/л) и более высокая производительность по сравнению с отстойниками. Однако конструктивно и в эксплуатации они более сложны [15].

Достоинства осветлителей обусловлены наличием слоя взвешенного осадка (контактной среды), который имеет большую развитую поверхность образующих ее частиц, оказывая благоприятное действие на процессы коагулирования, сорбции, адгезии продуктов процесса водообработки; способствует более равномерному распределению обрабатываемой воды по сечению осветлителя и оказывает позитивное влияние на гидравлический режим и параметры потока (гасится его турбулентность, увеличивается коэффициент объемного использования и т.д.); резко улучшает гидравлическую характеристику взвеси. Скорость осаждения возрастает в 2–3 раза по сравнению со скоростью осаждения в отстойнике за счет увеличения размеров хлопьев и их плотности; значительно повышается эффект очистки воды (снижается остаточное содержание извлекаемых из воды примесей) за счет более полного использования применяемых реагентов и свойств контактной среды.

Недостатки: обязательное применение реагентов; высокая чувствительность к перегрузкам и изменениям температуры; сложность конструкции сооружений; эксплуатация требует высокой культуры обслуживания.

При реагентном методе очистки природной воды схему *«осветлители с взвешенным осадком – скорые фильтры»* следует предусматривать для станций производительностью более 5000 $м^3$/сут при мутности исходной воды от 50 до 1500 мг/л 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, в 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 очистки значительно повышается.

Осветлители проектируются круглой, квадратной или прямоугольной в плане формы, с площадью, не превышающей 120–150 м^2. Они выполняются из сборного или монолитного железобетона или металла.

Наибольшее применение в типовом проектировании и практике получили осветлители коридорного типа с вертикальными осадкоуплотнителями (рис. 9.1).

Осветлители этого типа представляют собой прямоугольные в плане железобетонные резервуары, разделенные перегородками на коридоры. Между двумя секциями со слоем взвешенного осадка расположена секция осадкоуплотнителя [14].

Для улучшения гидродинамических условий работы взвешенного слоя нижние части конструкций выполнены с наклонными стенками, что позволяет повысить на этом участке скорость восходящего потока воды в 7–8 раз по сравнению с расчетной скоростью движения потока в верхнем сечении. В результате этого во взвешенный слой попадают более крупные частицы, обычно отлагающиеся на дне и обусловливающие заиливание всего сооружения.

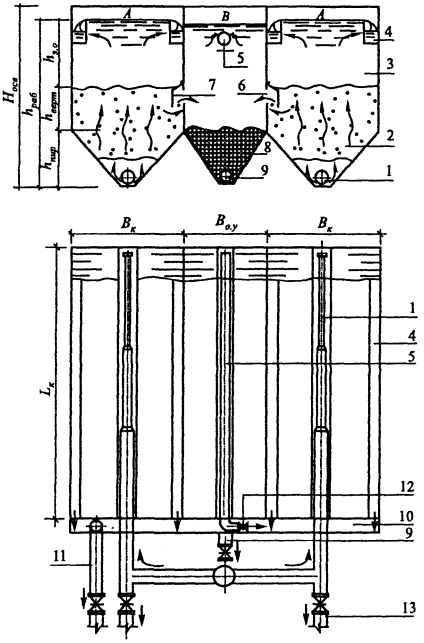


Рис. 9.1. Схема коридорного осветлителя:

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

В качестве воздухоотделителя в схемах с коридорными осветлителями выступает, как правило, вихревой смеситель.

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 осветления, 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 (рис. 9.2). Прямоугольная форма осветлителей обусловливает простоту их компоновки в пределах водоочистного комплекса.

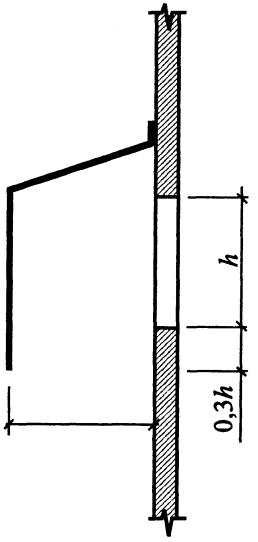


Рис. 9.2. Защитный козырек

В настоящее время разработано большое количество конструкций осветлителей как отечественных, так и зарубежных фирм.

Расчет и проектирование осветлителей

Основными расчетными параметрами осветлителей являются скорость восходящего движения воды в зоне осветления $V_{осв}$, которая определяется по результатам технологических исследований, и коэффициент распределения воды между зоной осветления и зоной осветления осадка $K_{р.в.}$. При отсутствии данных эксперимента эти величины определяются по табл. 9.1, причем нижние пределы скоростей указаны для хозяйственно-питьевых водопроводов.

Таблица 9.1

Расчетные параметры для осветлителей

Мутность воды, поступающей в осветлитель, мг/л	Скорость восходящего потока воды в зоне осветления, $V_{осв}$, мм/с		Коэффициент распределения воды, $K_{р.в.}$
	в зимний период	в летний период	
от 50 до 100	0,5 - 0,6	0,7 - 0,8	0,70 - 0,80
св. 100 до 400	0,6 - 0,8	0,8 – 1,0	0,80 - 0,70
св. 400 до 1000	0,8 - 1,0	1,0 - 1,1	0,70 - 0,65
св. 1000 до 1500	1,0 - 1,2	1,1 - 1,2	0,64 - 0,60

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 45^0 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 (рис. 9.2). 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 количество их в осадкоуплотнителе 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 следующей последовательности.

Суммарную площадь зоны осветления $F_{осв}$ определяют по формуле:

$$F_{осв} = \frac{q_ч \times K_{р.в}}{3{,}6 \times V_{осв}}, м^2, \quad (9.1)$$

где $q_ч$ - часовой расход воды, м^3/ч; $K_{р.в.}$ - коэффициент распределения воды между зонами осветления и отделения осадка (табл. 9.1); $V_{осв}$ - скорость восходящего потока воды в зоне осветления, мм/с.

Площадь зоны отделения осадка определяют по формуле:

$$F_{отд} = \frac{q_ч \times (1 - K_{р.в})}{3{,}6 \times V_{осв}}, м^2. \quad (9.2)$$

Ориентировочная суммарная площадь осветлителей составляет:

$$F = F_{осв} + F_{отд}, м^2. \quad (9.3)$$

Наиболее распространены в практике водообработки простые в компоновке в пределах водоочистной станции осветлители коридорного типа с вертикальными осадкоуплотнителями.

Каждый осветлитель состоит из трех коридоров. В двух коридорах происходит осветление воды в слое взвешенного осадка. Между ними располагается коридор для отделения и уплотнения осадка - осадкоуплотнитель (рис. 9.1).

Наиболее часто длина коридора $L_к$ принимается 9;12,0 м в осях (8,8 - 11,8 м в чистоте) при ширине коридоров $B_к$ осветления 3,0 м (в чистоте 2,8 м).

При этом суммарная площадь коридоров осветления одного осветлителя составляет:

$$F_{осв1} = 2 \times B_к \times L_к, м^2. \quad (9.4)$$

При принятых размерах коридоров осветления определяется требуемое количество рабочих осветлителей:

$$N_р = \frac{F_{осв}}{F_{осв1}}, шт. \quad (9.5)$$

К проектированию принимается необходимое количество рабочих осветлителей. Площадь зоны отделения осадка одного осветлителя составляет:

$$F_{\text{отд1}} = \frac{F_{\text{отд}}}{N_{\text{р}}}, \text{ м}^2. \quad (9.6)$$

При длине осадкоуплотнителя в чистоте ($L_{\text{к}}$, м) ориентировочная ширина осадкоуплотнителя составит:

$$B_{\text{о.у}} = \frac{F_{\text{отд1}}}{L_{\text{к}}}, \text{ м}. \quad (9.7)$$

При принятой ширине коридора отделения и уплотнения осадка в осях и в чистоте вычисляют размеры осветлителя в плане. При фактической рабочей площади осветлителя

$$F_1 = F^{\text{ф}}_{\text{осв1}} + F^{\text{ф}}_{\text{отд1}}, \text{ м}^2. \quad (9.8)$$

Фактическая суммарная площадь рабочих осветлителей на станции составит:

$$F_{\text{ф}} = F_1 \times N_{\text{р}}, \text{ м}^2. \quad (9.9)$$

Для распределения воды по площади коридоров осветления предусматриваются дырчатые коллектора телескопической формы при расходе воды на один

$$q_{\text{к}} = \frac{q_{\text{ч}}}{3{,}6 \times 2 \times N_{\text{р}}}, \text{ л/с}. \quad (9.10)$$

Коллектор сваривается из 2-3-х стальных труб различных диаметров равной длины. При скорости выхода воды из отверстий дырчатых труб ($V_0 = 1{,}5\text{-}2{,}0$ м/с) суммарная площадь отверстий в коллекторе определится по формуле:

$$\sum f_0 = \frac{q_{\text{к}}}{V_0}, \text{ м}^2. \quad (9.11)$$

При принятом диаметре отверстий (d_0 не менее 25 мм и площади одного отверстия f_0, м^2) их требуемое количество составит:

$$n_0 = \frac{\Sigma f_0}{f_0}, \text{ шт.} \quad (9.12)$$

Отверстия располагаются с двух сторон коллектора в шахматном порядке, они направлены вниз под углом 45° к вертикали. При этом шаг оси отверстий составит:

$$l_0 = \frac{2 \times L_к^1}{n_0}, \text{ м,} \quad (9.13)$$

где $L_к^1$ - 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 осветления предусматривается двумя желобами с треугольными водосливами. Расход воды, приходящийся на один желоб, составит:

$$q_ж = \frac{q_ч \times K_{р.в}}{4 \times N_р \times 3600}, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (9.14)$$

Ширина желоба определяется по эмпирической формуле:

$$\beta_ж = 0{,}9 \times q_ж^{0{,}4}, \text{ м.} \quad (9.15)$$

Вырезы высотой 40-60 мм размещаются в один ряд по внутренней стенке желоба при расстоянии между осями водосливов $l_в = 100\text{-}150$ мм и угле наклона между кромками водослива 60°. При этом количество треугольных водосливов в желобе составит:

$$n_в = L_к : l_в, \text{ шт.} \quad (9.16)$$

Желоба принимаются переменной глубины. Высоты от кромки до дна в начале и в конце желоба составят:

$$h_н = 0{,}75 \times \beta_ж, \text{ м,} \quad (9.17)$$

$$h_к = 1{,}25 \times \beta_ж \text{, м.} \quad (9.18)$$

Скорость движения воды с осадком в осадкоприемных окнах принимается 10–15 мм/с. Тогда площадь окон в одном коридоре осветления составит:

$$f_{ок} = \frac{q_ч \times (1 - K_{р.в})}{2 \times N_р \times V_{ок} \times 3{,}6} \text{, м}^2, \quad (9.19)$$

где $V_{ок}$ – скорость движения воды с осадком в осадкоприемных окнах.

Приняв высоту окон (0,2-0,3 м), определяют общую их длину по формуле:

$$l_{ок} = \frac{f_{ок}}{h_{ок}} \text{, м.} \quad (9.20)$$

В каждой стенке, разделяющей осадкоуплотнитель и коридоры осветления, предусматривается по $n_{ок}$ размером ($h_{ок} \times l_{ок}$). При длине осветлителя в осях L, м, шаг оси окон составит:

$$l_0 = \frac{L}{n_{ок}} \text{, м.} \quad (9.21)$$

Расстояние между окнами определяется из выражения:

$$l_1 = l_0 - l_{ок} \text{, м.} \quad (9.22)$$

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

$$q_{сб} = \frac{q_ч \times (1 - K_{р.в})}{3{,}6 \times N_р} \text{, л/с,} \quad (9.23)$$

принимается труба диаметром D и определяется скорость движения воды в конце трубы.

Скорость входа воды в отверстия трубы V_0 принимается не менее 1,5 м/с. Тогда суммарная площадь отверстий ориентировочно составит:

$$\sum f_0 = \frac{q_{сб}}{V_0}, \text{ м}^2. \quad (9.24)$$

При принятом диаметре отверстий ($d_0 = 15\text{-}20$ мм и площади одного отверстия f_0, м^2) требуемое их количество определится по формуле:

$$n_0 = \frac{\Sigma f_0}{f_0}, \text{ шт.} \quad (9.25)$$

Отверстия располагаются в два ряда в шахматном порядке. Они направлены вверх под углом 45°. При этом шаг оси отверстий по одной стороне трубы составит:

$$l_0 = \frac{2 \times L_к^1}{n_0}, \text{ м.} \quad (9.26)$$

Высоту осветлителя, считая от центра водораспределительного коллектора до верхних кромок сборных желобов, h определяют по формуле:

$$h = \frac{B_к - 2 \times в_ж}{2 \times \text{tg}\frac{\alpha}{2}}, \text{ м,} \quad (9.27)$$

где α - центральный угол, образуемый прямыми, проведенными от оси водораспределительного коллектора к верхним точкам кромок желобов.

Высота осветлителя от дна до кромки желобов составит:

$$h_{раб} = h + h_к, \text{ м,} \quad (9.28)$$

где $h_к = 0{,}2\text{-}0{,}3$ м - расстояние от центра водораспределительного коллектора до дна сооружения.

Общая высота осветлителя с учетом высоты строительного борта ($h_{стр}$ = 0,3-0,5 м) составит:

$$H_{осв} = h_{раб} + h_{стр}, \text{ м.} \quad (9.29)$$

Приняв центральный угол наклона стенок коридора β и ширину коридора понизу α, определяют высоту пирамидальной части осветлителя:

$$h_{пир} = \frac{B_к - \alpha}{2 \times \text{tg}\frac{в}{2}}, \text{ м.} \quad (9.30)$$

Высоту зоны осветления от слоя взвешенного осадка до поверхности воды принимают $h_{з.о}$ = 2–2,5 м.

Тогда высота зоны взвешенного осадка выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные будет равна:

$$h_{верт} = h_{раб} - h_{з.о} - h_{пир}, \text{ м.} \quad (9.31)$$

Общая высота зоны взвешенного осадка составит:

$$h_{в.о} = h_{верт} + \frac{h_{пир}}{2}, \text{ м.} \quad (9.32)$$

Низ осадкоприемных окон располагается несколько выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные.

Объем зоны накопления осадка осадкоуплотнителя определяется из выражения:

$$W = L_к \times (B_{о.у} \times h_{верт} + \frac{B_{о.у} \times h_{пир}}{2}), \text{ м}^3. \quad (9.33)$$

Количество осадка, поступающего в осадкоуплотнитель, составит:

$$q = (C_в - M_{осв}) \times \frac{q_ч}{N_р}, \text{ кг/ч,} \quad (9.34)$$

где $M_{осв}$ - мутность воды, выходящей из осветлителя (принимается от 8 до 15 г/м ^{3}).

Концентрация твердой фазы осадка δ при принятом времени уплотнения для воды мутностью $C_в$ определяется по табл. 8.2. 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 составит:

$$G = q \times T, \text{ кг.} \tag{9.35}$$

Требуемый объем осадкоуплотнителя для его хранения в течение T, ч:

$$W_{тр} = \frac{G}{\delta}, \text{ м}^3. \tag{9.36}$$

Для удаления осадка из осадкоуплотнителя предусматривается дырчатый трубопровод. Количество воды с осадком, сбрасываемых из осадкоуплотнителя при чистке, определяется с учетом коэффициента разбавления $K_р = 1{,}5$ и продолжительности сброса осадка $t_с$:

$$q_{ос} = \frac{K_р \times W_{тр}}{t_с \times 60}, \text{ м}^3/\text{с}. \tag{9.37}$$

Принимается к монтажу трубопровод диаметром d и определяется скорость движения шлама при сбросе:

$$V_{ос} = \frac{q_{ос}}{0{,}785 \times d^2}, \text{ м/с}. \tag{9.38}$$

Осадок поступает в трубы через отверстия d_0 не менее 20 мм, площадь одного отверстия f_0, м^2. Суммарная площадь отверстий в трубе при скорости движения осадка в отверстиях ($V_0 > 3$ м/с) составит:

$$\sum f_0 = \frac{q_{ос}}{V_0}, \text{ м}^2. \tag{9.39}$$

Требуемое количество отверстий равно:

$$n_0 = \frac{\Sigma f_0}{f_0}, \text{ шт.} \tag{9.40}$$

При расположении отверстий в один ряд сверху трубы шаг оси составит:

$$l_0 = \frac{L_к^1}{n_0}, \text{ м.} \tag{9.41}$$

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 патрубок, выведенный в открытый лоток.

Спуск воды из рабочих коридоров осветлителей обеспечивается через распределяющие исходную воду трубы, присоединенные к коммуникациям сброса осадка.

9.3. Интенсификация работы осветлителей

Контактные камеры хлопьеобразования

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.

Контактные камеры располагают по всей площади рабочих коридоров осветлителей в их нижней конической части (рис. 9.3).

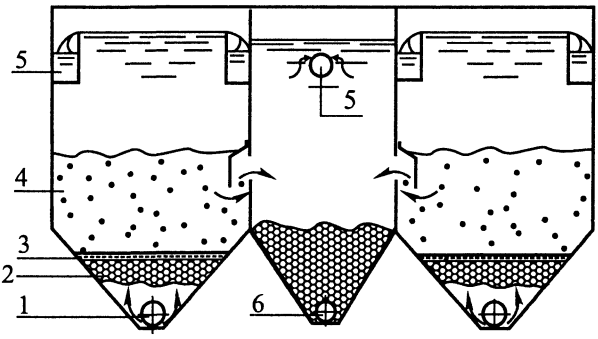


Рис. 9.3. Осветлитель с контактной камерой хлопьеобразования:
1 - подача исходной воды; 2 - контактная камера хлопьеобразования; 3 - решетка; 4 - зона взвешенного осадка; 5 - отвод осветленной воды; 6 - удаление осадка

В качестве зернистой контактной загрузки для данных камер хлопьеобразования рекомендуется использование полимерных плавающих материалов (пенопласт полистирольный марок ПСБ и ПСВ), которые разрешены для контакта с питьевой водой, или других аналогичных материалов. Крупность зерен загрузки – 30–40 мм, высота слоя зернистой загрузки должна составлять 0,3–0,4 м (большие значения - для вод малой мутности).

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.

Удерживающая решетка должна быть рассчитана на выталкивающую силу R, определяемую по формуле:

$$R = (\rho_в - \rho_п)(1 - m)H_п + p_в x \Delta h_з, \text{ т/м}^2, \qquad (9.42)$$

где $\rho_в$ - плотность воды, т/м^3; $\rho_п$ - плотность пенопласта 0,02-0,04, т/м^3; m - пористость загрузки 0,4–0,45; $H_п$ -высота слоя пенопластовой загрузки, м; $\Delta h_з$ - расчетный перепад давления в загрузке, принимаемый 0,05–0,10 м.

В решетке должен быть предусмотрен люк, через который производятся загрузка и выгрузка 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 $м^2$ 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 возможно использование 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.

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 1х1 - 1,5х1,5 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, исключающей 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.

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 на рамы только в четырех крайних ячейках (рис. 9.4). Конструкция сотоблоков обеспечивает простоту при монтажных работах, надежна и долговечна при эксплуатации.

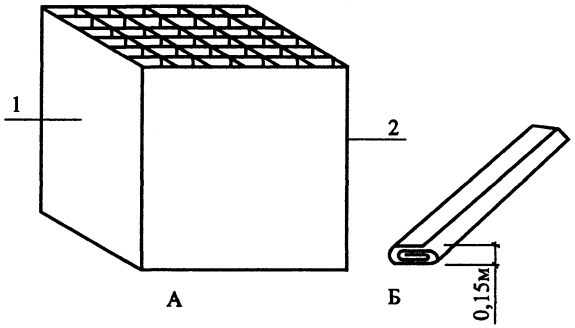


Рис. 9.4. Тонкослойный сотоблок из полиэтиленовой пленки:
а - общий вид; б - в сложенном виде при транспортировке; 1-тонкослойный блок из полиэтиленовой пленки; 2-стержни для растяжения сотоблока

ГУП «Институт МосводоканалНИИпроект» разработал тонкослойный модуль сотового типа с самонесущей способностью (рис. 9.5). 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 рис. 9.6.

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.

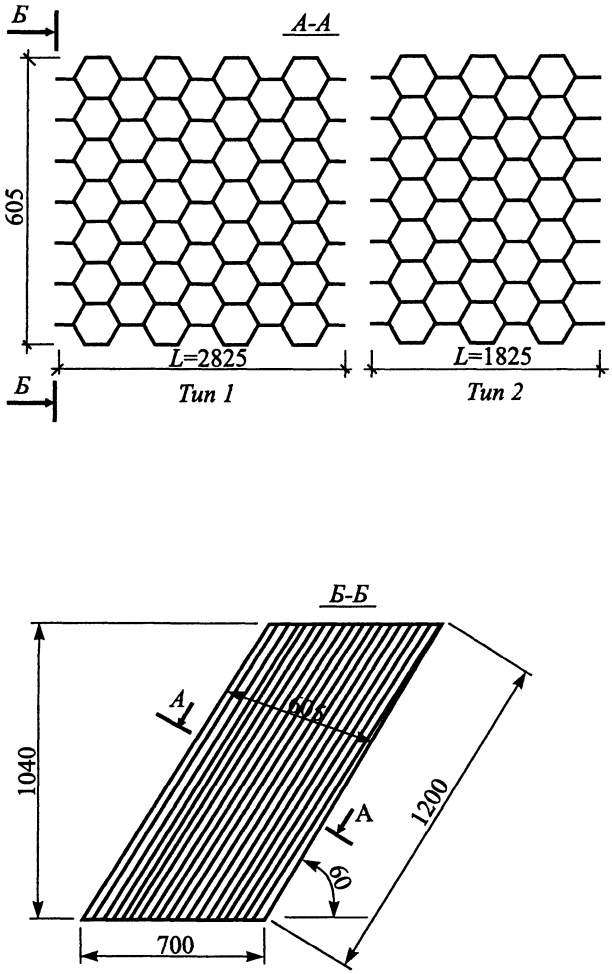


Рис. 9.5. Тонкослойные модули сотового типа из рулонного материала ПВХ

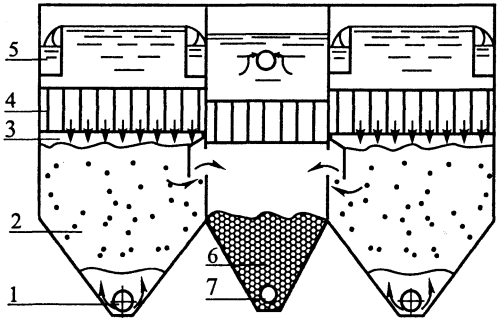


Рис. 9.6. Осветлитель, оборудованный тонкослойными блоками:
1 - подача исходной воды; 2 - зона взвешенного осадка; 3 - зона сползания осадка; 4 - тонкослойные блоки; 5 - отвод осветленной воды; 6 - зона накопления осадка; 7 - удаление осадка

Установку отдельных блоков в осветлителях следует осуществлять 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.

Расчетная схема тонкослойного блока приведена на рис. 9.7.

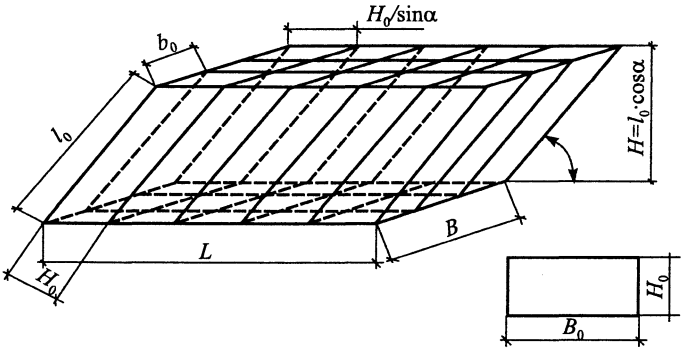


Рис. 9.7. Конструктивные параметры тонкослойных элементов в блоке:
l_0, b_0, H_0 – длина, ширина и высота тонкослойного элемента; L, B, H – соответственно длина, ширина и высота тонкослойного сотоблока

Расчет технологических и конструктивных параметров сооружений, а также отдельных тонкослойных элементов следует производить по зависимостям, приведенным в гл. 8, п. 8.3.

В тонкослойных осветлителях для предотвращения образования зон повышенной концентрации взвеси нижнюю кромку тонкослойных блоков располагают непосредственно над верхней отметкой осадкоприемных окон.

Возможна установка тонкослойных сотоблоков в зоне взвешенного осадка коридорных осветлителей, что обеспечивает равномерное распределение осветляемой воды и увеличивает коэффициент объемного использования этих сооружений до 0,9–0,92 (до реконструкции 0,65–0,7). Соответственно качество осветленной воды улучшается в 1,5–1,8 раза при одновременном увеличении в 1,3–1,7 раза нагрузки на сооружения.

Тонкослойные элементы можно также использовать для обезвоживания и уплотнения осадка. С этой целью тонкослойные модули устанавливают в осадкоуплотнителях осветлителей ниже осадкоприемных окон. Оборудование осадкоуплотнителей тонкослойными блоками создает хорошие гидродинамические условия для гравитационного уплотнения и обезвоживания осадка, что позволяет увеличить период его накопления, уменьшить количество сбрасываемой с ним воды.

Осветлители-рециркуляторы

Для интенсификации процессов очистки воды в осветлителях со взвешенным осадком может быть использован метод рециркуляции осадка, предложенный СПб НИИ АКХ.

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 ЛНИИ АКХ конструкциях осветлителей-рециркуляторов (рис. 9.8).

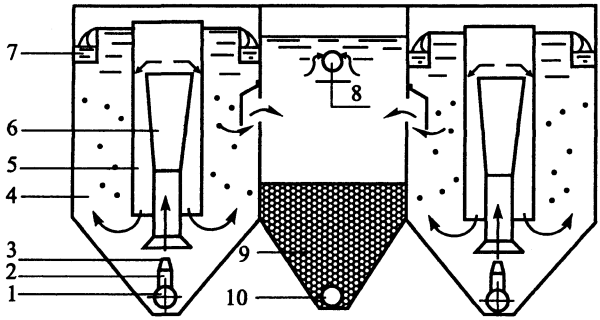


Рис. 9.8. Осветлитель-рециркулятор:
1 - распределительная труба; 2 - патрубок; 3 - сопло; 4 - рабочая камера со слоем взвешенного осадка; 5 - камера хлопьеобразования с направляющим аппаратом; 6 - смеситель; 7 - лоток; 8 - отвод осветленной воды из осадкоуплотнителя; 9 - осадкоуплотнитель; 10 - трубы 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.

При проектировании и наладке вышеуказанных сооружений п. 9.3 следует пользоваться рекомендациями [13, 16, 17].

Глава 10. Очистка природных вод фильтрованием

10.1. Краткие сведения о фильтрах

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.

10. 2. 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) по скорости фильтрования: медленные (0,1–0,3 м/ч), скорые (5–12 м/ч) и сверхскоростные (36–100 м/ч); 2) по давлению, под которым они работают: открытые (или безнапорные), напорные; 3) по направлению фильтрующего потока: однопоточные (обычные скорые фильтры), двухпоточные (фильтры АКХ, ДДФ), многопоточные; 4) по крупности фильтрующего материала: мелкозернистые, среднезернистые, крупнозернистые; 5) по числу фильтрующих слоев: однослойные, двухслойные, многослойные.

10.3. Расчет фильтрующих установок и аппаратов

Скорые безнапорные фильтры

Задача выбора типа фильтра неоднозначна. Для ее решения требуется не только хорошо знать устройство однослойных 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 табл. 10.1. 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.

Таблица 10.1

Исходные данные при проектировании фильтров

Типы фильтров	Фильтрующая загрузка			Скорость фильтрования, м/ч		Параметры промывки		
	материал	крупность, мм	высота, мм	при нормальном режиме	допустимая при форсированном режиме	относительное расширение, %	интенсивность промывки, л/с·м^2	продолжительность промывки, мин
Однослойные	песок кварц.	0,5 - 1,2	700 - 800	5,0 - 6,0	6,0 - 7,5	45	12 - 14	6 - 5
	то же	0,7 - 1,6	1300-1500	6,0 - 8,0	7,0 - 9,5	30	14 - 16	6 - 5
	>>	0,8 - 2,0	1800-2000	8,0 -10,0	10,0 – 12,0	25	16 - 18	6 - 5
	дроб. керамзит	0,5 - 1,2	700-800	6,0 - 7,0	7,0 – 9,0	45	12 - 15	6 - 5
	то же	0,7 - 1,6	1300-1500	7,0 - 9,5	8,5 - 11,5	30	12 - 15	6 - 5
	>>	0,8 - 0,2	1800-2000	9,5 -12,0	12,0 - 14,0	25	12 - 15	6 - 5
Двухслойные	песок кварц.	0,8 - 1,2	700 - 800					
	и дроб. антрацит	0,8 - 1,8	400 - 500	7 - 10	8,5 - 12,0	50	14 - 16	7 - 6

Фильтры рассчитываются на работу при нормальном и форсированном режимах с учетом выключения отдельных фильтров на промывку и ремонт.

Общая площадь фильтров на станции определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_{\text{п}}}{mv - nq - nt_1 v_{\text{н}}}, \text{ м}^2, \qquad (10.1)$$

где $Q_{\text{п}}$ - полезная производительность станции, м^3/сут; m - продолжительность работы станции в течение суток (принимается 24 ч); $v_{\text{н}}$ - скорость фильтрования, м/ч (принимается по табл. 10.1); n - число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации; q - удельный расход воды на промывку одного фильтра, м^3/м^2; t_1 – время простоя фильтра в связи с промывкой, ч.

Количество промывок определяется по выражению:

$$n = \frac{m}{T + t_1}\text{, шт,} \qquad (10.2)$$

где T - расчетная продолжительность фильтрующего цикла (принимается при нормальном режиме – 8-12 ч, при форсированном режиме – 6 ч); t_1 - время простоя фильтра в связи с промывкой (принимается для фильтров, промываемых водой - 0,33 ч, промываемых водой и воздухом - 0,5 ч).

Удельный расход воды для фильтров, промываемых водой, составит:

$$q = 3{,}6W \cdot t; \qquad (10.3)$$

удельный расход воды для фильтров с водовоздушной промывкой равен:

$$q = \sum q, \qquad (10.4)$$

где W, t - соответственно интенсивность л/(с · м^2) и продолжительность промывки фильтра, ч; q_i - удельный расход воды на отдельных этапах промывки, определяемый по формуле (10.3), при параметрах (совместная водовоздушная промывка: интенсивность 3-4 л/(с · м^2) в течение 4-5 мин; без продувки: интенсивность 6-8 л/(с · м^2) в течение 4-5 мин).

По общей площади фильтров (в первом приближении) определяется их количество по выражению:

$$N = 0{,}5\sqrt{F}\text{, шт.} \qquad (10.5)$$

При дальнейших расчетах, конструировании и компоновке фильтров на станции количество их уточняется в соответствии с типоразмерами, разработанными для типовых проектов. При окончательном назначении количества фильтров должно обеспечиваться соотношение:

$$V_{\text{ф}} \le V_{\text{н}} \frac{N}{N - N_{\text{i}}}, \qquad (10.6)$$

где $V_{\text{ф}}$ - допустимая скорость фильтрования при форсированном режиме, м/ч; N_{i} - число фильтров находящихся в ремонте или на промывке (при $N < 20$ $N_{\text{i}} = 1$, при $N > 20$ $N_{\text{i}} = 2$); $V_{\text{н}}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч.

Если условие (10.6) выполняется, то определяется площадь одного фильтра по формуле:

$$f = F / N, \text{ м}^2. \qquad (10.7)$$

Назначаются его размеры в плане и по высоте.

В процессе конструирования выполняется эскиз (рис. 10.1) принятого в проекте фильтра в плане и разрезах, на которых должно быть указано взаимное расположение всех элементов.

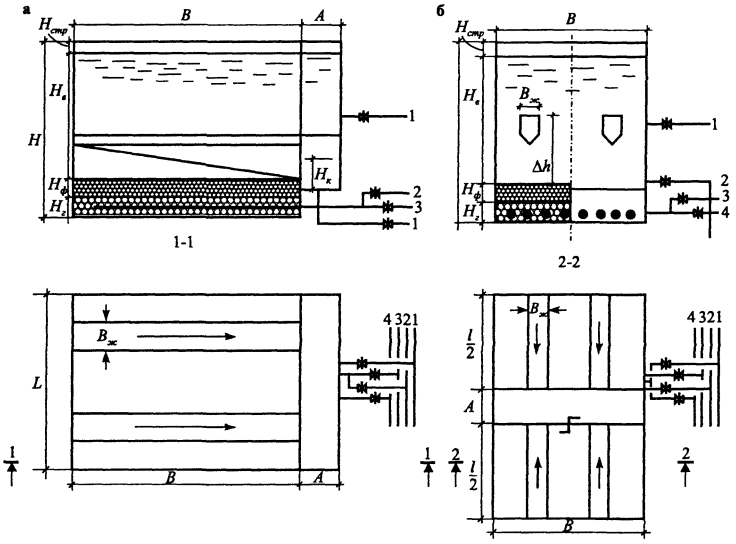


Рис. 10.1. Принципиальная схема скорого фильтра:
а - с боковым каналом; б - с центральным каналом; 1 - подача исходной воды; 2 - отвод фильтрата; 3 - подача промывной воды; 4 - отвод промывной воды

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 x L) 3,5x5; 5x5,5; 6x6; 6x8,0; 6x9; 6x12; 12x12, м (размеры по осям стен).

В фильтрах площадью до 40 м^2 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^2) 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 *А* 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.

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 $м^2$ или в виде канала для фильтров площадью более 40 $м^2$, 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 раздельные 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 табл. 10.2.

Таблица 10.2

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 однорядной 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^2 располагают в ряд, боковыми карманами, обращенными внутрь галереи; фильтры площадью более 40 м^2 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. Ма-

гистральный 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 табл. 10.1 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 двухслойных 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 (табл. 10.3).

Таблица 10.3

Гравийные слои фильтра

Крупность зерен, мм	Высота слоя, мм
40 - 20	Верхняя граница слоя должна быть на уровне верха распределительных труб, но не менее чем на 100 мм выше отверстий
20 - 10	100 - 150
10 - 5	100 - 150
5 - 2	50 - 100

При водовоздушной промывке с подачей воды и воздуха по раздельным трубчатым системам высоту слоев гравия крупностью 10–5 мм и 5–2 мм следует принимать по 150–200 мм каждый. Для фильтров с крупностью загрузки 0,5–1,2 мм следует предусматривать дополнительный пятый поддерживающий слой с размером зерен 2,0–1,2 мм, высотой 100 мм.

Общая высота поддерживающих слоев равна сумме высот гравийных слоев различной крупности, укладываемых друг на друга в последовательности, указанной в табл. 10.3.

После подбора загрузки и поддерживающих слоев определяется высота фильтра (рис. 10.1) по формуле:

$$H = H_{\text{п}} + H_{\text{ф}} + H_{\text{в}} + H_{\text{д}} + H_{\text{с}}, \text{ м}, \qquad (10.8)$$

где $H_{\text{п}}$, $H_{\text{ф}}$ – соответственно высота поддерживающего и фильтрующего слоя, м; $H_{\text{в}}$ - высота слоя воды над фильтрующей загрузкой (принимается не менее 2 м); $H_{\text{д}}$ - дополнительная высота фильтров, определяемая при работе их с постоянной скоростью фильтрования при выключении одного или

двух фильтров на промывку, м; H_c - превышение кромки бортов фильтра над поверхностью воды, принимаемое равным 0,5 м.

Дополнительная высота фильтров определяется по формуле:

$$H_Д = \frac{W_0}{F_0} = \frac{\sum f_ф \cdot V_н \cdot t_1}{F - \sum f_ф}, м, \qquad (10.9)$$

где W_0 - объем воды, накапливающейся за время простоя промываемого фильтра, м^3; F_0 - суммарная площадь фильтров, в которых накапливается вода, м^2; $\sum f_ф$ – суммарная площадь фильтров, выключаемых на промывку.

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^2 показано на рис. 10.2*а*, а для фильтров площадью более 40 м^2 - на рис. 10.2*б*.

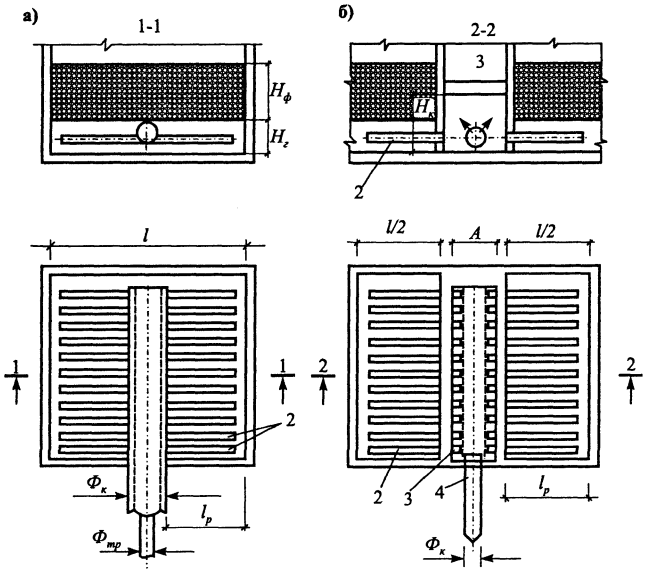


Рис. 10.2. Принципиальная схема трубчатого дырчатого дренажа:
а - с центральным коллектором; б - с центральным каналом; 1 - центральный коллектор; 2 - боковые ответвления; 3 - центральный канал; 4 - подача промывной воды; 5 - дырчатый трубопровод

Расчет дренажа ведется в следующей последовательности.

Определяется расчетный расход воды на промывку одного фильтра по формуле:

$$q_{\text{пр}} = f \cdot W \text{, л/с,} \qquad (10.10)$$

где f - площадь одного фильтра, м^2; W - интенсивность промывки фильтра, л/(с·м^2) (принимается по табл. 10.1).

Диаметр центрального коллектора дренажа определяется по расчетным таблицам [18] при скорости движения промывной воды, принимаемой от 0,8 до 1,2 м/с.

Площадь поперечного сечения нижней секции центрального канала определяется по формуле:

$$f_{\text{к}} = \frac{q_{\text{пр}}}{v_{\text{к}}} \text{, м}^2, \qquad (10.11)$$

где $q_{\text{пр}}$ - расчетный расход промывной воды, м^3/с; $v_{\text{к}}$ - скорость движения воды (принимается от 0,8 до 1,2 м/с).

Размеры нижнего сечения центрального канала A и $H_{\text{к}}$ (рис. 10.2 *б*) должны быть не менее 0,7 м.

Если $\varnothing_{\text{к}} \geq 0{,}7$ м, то

$$A = H_{\text{к}} = \varnothing_{\text{к}} + 0{,}2 \text{, м,} \qquad (10.12)$$

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° к вертикали. На рис. 10.2 *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 находится по выражению:

$$\Sigma f_0 = \frac{P \cdot f}{100} \text{, м}^2, \qquad (10.13)$$

где P - отношение суммарной площади отверстий к площади фильтра, принимаемое равным 0,5–0,6 %; f - площадь фильтра, м^2.

Приняв диаметр отверстий $d_0 = 40–50$ мм, определяют их количество на трубе:

$$n_0 = \frac{4\Sigma f_0}{\text{р} \cdot d_0^2}, \text{ шт}, \tag{10.14}$$

где d_0 необходимо выразить в м.

Расстояние между осями отверстий составит:

$$L_0 = l_к / n_0, \text{ м}, \tag{10.15}$$

где $l_к$ - длина коллектора или канала, в котором прокладывается дополнительная труба, м.

Распределительные (стальные или чугунные) трубы выполняются с круглой перфорацией диаметром $d_0 = 10–12$ 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.

Количество распределительных труб в фильтре определяется по выражению:

$$n_р = l_к / l_1, \tag{10.16}$$

где l_1 - расстояние между осями труб ответвлений, принимаемое равным 0,25–0,35 м.

Длина распределительных боковых ответвлений определяется по выражениям:

- с центральным коллектором (трубой):

$$l_р = \frac{l - D_к}{2} - 0{,}1, \text{ м}; \tag{10.17}$$

- с центральным каналом :

$$l_р = \frac{l - B_к}{2} - 0{,}1, \text{ м}. \tag{10.18}$$

Диаметр распределительных боковых ответвлений определяется по расчетному расходу, равному:

$$q_{б\text{-}о} = q_{пр} / n_р, \text{ л/с.} \quad (10.19)$$

Скорость движения воды в распределительных трубах принимается равной 1,6–2 м/с.

Общая площадь отверстий в распределительных трубах определяется по выражению (10.13), где $P = 0{,}25–0{,}5\%$. Количество отверстий на всех трубах определяют по формуле (10.14), приняв диаметр одного отверстия $d_0 = 10–12$ мм (подставлять в м).

Количество отверстий на одной трубе равно:

$$n_{o1} = n_0 / n_р, \text{ шт.} \quad (10.20)$$

Отверстия следует располагать в два ряда в шахматном порядке под углом 45° к вертикальной оси трубы. Они должны быть направлены вниз. Расстояние между осями отверстий должно находиться в пределах 0,15–0,2 м, которое определяется по формуле:

$$l_0 = 2l_р / n_{o1}. \quad (10.21)$$

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 (10.10–10.19). При определении общей площади щелей $\sum f_щ$ по формуле (10.13) $P = 1{,}5–2{,}0\%$. Размеры щелей принимают: ширина щели должна быть на 0,1 мм меньше размера минимальной фракции фильтрующей загрузки:

$$b_щ = d_{min} - 0{,}1, \text{ мм.} \quad (10.22)$$

Длина щели не должна превышать значение ($a_щ \le 0{,}785 d_p$, где d_p - диаметр распределительной трубы, мм).

Количество таких щелей на одной трубе определяют по выражению:

$$n_щ = \frac{10^6 \sum f_щ}{0{,}785 \cdot d_p \cdot n_p \cdot b_щ}, \text{ шт,} \quad (10.23)$$

где $\sum f_{щ}$ - общая площадь щелей, м^2; $n_р$, $d_р$ - соответственно количество и диаметр распределительных труб, мм.

Щели размещаются перпендикулярно к продольной оси распределительных труб с двух диаметрально противоположных сторон.

Расстояние между осями щелей на трубе составит:

$$l_{щ} = \frac{2l_р}{n_{щ}}, \text{ м}, \tag{10.24}$$

где $l_р$ - длина распределительной трубы, м.

Расчет дренажа из пористых плит (рис. 10.3 *а*) ведется в следующей последовательности. По формулам (10.10–10.15) рассчитываются размеры центрального коллектора.

Количество распределительных каналов $n_р$ определяется по выражению (10.16), где l_1 - расстояние между осями каналов, принимается 0,25–0,6 м. Затем определяется ширина распределительного канала по формуле:

$$b_р = \frac{l_к - (n_р + 1)\sigma_р}{n_р}, \text{ м}, \tag{10.25}$$

где $l_к$ - длина центрального коллектора, м; $\sigma_р$ - толщина разделительной стенки распределительных каналов принимается 0,08–0,1 м.

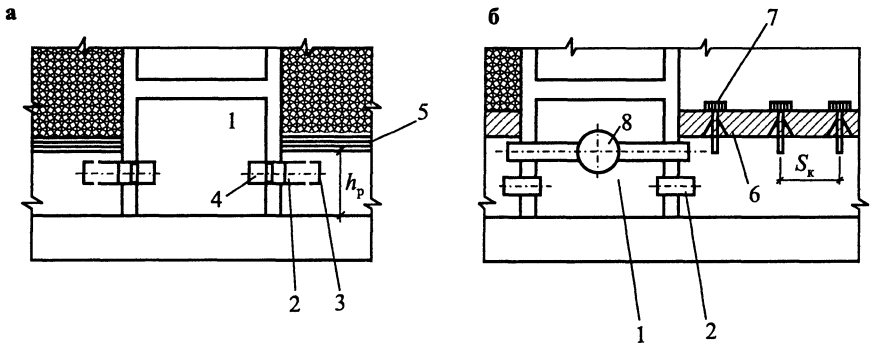


Рис. 10.3. Принципиальная схема дренажа без поддерживающих слоев:
а - пористый; б – колпачковый; 1 - нижний канал; 2 - патрубок; 3 – отражатель; 4 – диафрагма; 5 - пористые плиты; 6 - промежуточное днище; 7 - щелевые колпачки; 8 - воздуховод

Высота распределительного канала принимается $h_р = 0{,}25$ - $0{,}35$ м, а его длина $l_р = b/2$.

Каналы перекрываются сборными или сплошными пористыми полимербетонными плитами толщиной не менее $\sigma_п = 40$ мм. Причем сплошные плиты располагают на железобетонных колосниках сечением не менее 70х70 мм, уложенных и закрепленных на разделительных стенках с зазором 3–6 мм.

На входе в распределительных каналах устанавливают патрубки, диаметр которых ($d_п$) определяется по расчетному расходу и скорости, принимаемой 1,8–2,0 м/с. За патрубком на расстоянии (1–2) $d_п$ устанавливают отражатель в виде диска, а на входе в патрубок - диафрагму, диаметр которой можно определить по формуле:

$$d_д = 8{,}1\sqrt{\frac{q_{пр}}{n_р \varepsilon \sqrt{h}}}, \text{мм}, \qquad (10.26)$$

где $q_{пр}$ - расчетный расход воды на промывку фильтра, л/с; $n_р$ - количество распределительных каналов; ε - коэффициент сжатия струи, можно принимать 0,6 - 0,7; h - потери напора в диафрагме, принимаемые равными 2–3 м.

В колпачковом дренаже рис. (10.3 *б*) колпачки закрепляются в промежуточном перекрытии, располагаемом на 0,8 м от дна фильтра. Общая площадь щелей всех колпачков определяется по формуле (10.13), в которой $P = 0{,}8$–$1{,}0$ % от площади фильтра. При расчете принимается тип колпачков, определяется их суммарное количество для одного фильтра по формуле:

$$\Sigma n_к = \frac{10^4 \Sigma f_щ}{f_к}, \text{ шт}, \qquad (10.27)$$

где $f_к$ - площадь щелей в одном колпачке, принимаемая равной для ВТН-5–1,92 см^2, для В-1–2,88 см^2.

Проверяется количество колпачков, приходящееся на 1 м^2 площади фильтра:

$$n_к = \frac{\Sigma n_к}{f}, \text{ шт}. \qquad (10.28)$$

Их количество должно находиться в пределах 35-50 на м^2. Колпачки располагают в шахматном порядке на расстоянии друг от друга

$$S_к = \sqrt{\frac{f}{\Sigma n_к}}, \text{ м.} \qquad (10.29)$$

Для водовоздушной промывки рассчитываются раздельные трубчатые системы.

Расчет трубчатого дренажа с круглой перфорацией для подачи промывной воды производится в последовательности, указанной в формулах 10.10–10.21. При определении площади отверстий в трубах по формуле (10.13) следует принимать $P = 0{,}25$ - 0,5%, отверстия располагают в два ряда по нижней образующей. Трубчатый дренаж с щелевой перфорацией рассчитывается по формулам 10.22–10.26. Расстояние от низа труб дренажа до дна фильтра принимается равным 150–170 мм.

Расчет трубчатой распределительной системы для подачи воздуха следует производить в следующей последовательности.

Определяется количество воздуха, подаваемого на продувку фильтра по формуле:

$$Q_в = f \cdot W, \text{ л/с,} \qquad (10.30)$$

где f - площадь фильтра, м^2; W - интенсивность подачи воздуха, принимаемая 15–20 л/(с·м^2).

Площадь поперечного сечения коллектора определяется по формуле:

$$f_к = \frac{Q_в}{V_в}, \text{ м}^2, \qquad (10.31)$$

где $V_в$ - скорость движения воздуха в коллекторе, принимаемая 6–10 м/с; $Q_в$ - количество подаваемого воздуха, м^3/с.

Диаметр коллектора для воздуха определяется по формуле:

$$d_к = \sqrt{\frac{4f_к}{\text{р}}}. \qquad (10.32)$$

Коллектор располагается выше распределительных труб, а последние - между трубами подачи воды.

Количество и длина распределительных труб принимаются равными количеству и длине труб для подачи воды. Диаметр распределительных труб определяется по формуле:

$$d_{\text{р}} = \sqrt{\frac{Q_{\text{в}}}{\text{p}\text{V}_{\text{р}} n_{\text{р}}}}, \tag{10.33}$$

где $\text{V}_{\text{р}}$ - скорость движения воздуха в распределительных трубах, принимаемая 13–17 м/с, причем меньшей скорости в коллекторе должна соответствовать большая скорость в распределительных трубах, и наоборот.

Общая площадь отверстий в распределительных трубах определяется по формуле:

$$\Sigma f_0 = \frac{Q_{\text{в}}}{V}, \tag{10.34}$$

где V - скорость выхода воздуха из отверстий, принимаемая 45–50 м/с.

Общее количество отверстий в распределительной системе определяется по формуле:

$$n = \frac{10^6 \Sigma f_0}{f_{o1}}, \tag{10.35}$$

где f_{o1} - площадь одного отверстия, определяемая: для круглых отверстий - $f_{o1} = \pi d_0^2 / 4$; для щелей - $f_{o1} = l_{\text{щ}}(d_{\min} - 0{,}1)$; d_o -диаметр отверстий (3–5 мм); $l_{\text{щ}}$ - длина щели (15–20 мм); $d_{\min}$ - минимальный диаметр фракции фильтрующей загрузки, мм.

Количество отверстий или щелей на одной трубе:

$$n_{o1} = \frac{n}{n_{\text{р}}}, \text{ шт.} \tag{10.36}$$

Отверстия или щели располагаются в шахматном порядке под углом 45° к вертикальной оси и направлены вниз. Расстояние между осями отверстий определяется по формуле (10.18) и не должно превышать 100–200 мм.

Сбор и отвод загрязненной воды при промывке фильтров осуществляется устройствами, конструкция которых зависит от способа промывки.

При промывке водой принимаются обычные желоба, а при водовоздушной - специальные пескоулавливающие желоба. Конструкции желобов должны предотвращать вынос зерен загрузки вместе с промывной водой - и не препятствовать нормальному расширению загрузки фильтра в восходящем потоке промывной воды.

При промывке фильтров только водой сбор и отвод загрязненной промывной воды осуществляется желобами полукруглого или пятиугольного сечений. Количество желобов в фильтре определяется при условии, чтобы расстояние между осями желобов не превышало 2,2 м.

Расход воды по одному желобу составит:

$$q_{ж} = \frac{q_{пр}}{n_{ж}}, \text{ м}^3/\text{с}, \tag{10.37}$$

где $q_{пр}$ - количество воды, подаваемой на промывку фильтра, м^3/с; $n_{ж}$ - количество желобов.

Ширина желобов (рис. 10.1) определяется по формуле:

$$B_{ж} = K\sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1{,}57 + a)^3}}, \text{ м}, \tag{10.38}$$

где a - отношение высоты прямоугольной части желоба к половине его ширины, принимаемое от 1 до 1,5; K - коэффициент, принимаемый равным для полукруглых желобов - 2, для пятиугольных желобов – 2,1.

Конструктивная высота желоба определяется по выражению:

$$h_{ж} = (1-1{,}5)B_{ж} + \sigma, \text{ м}, \tag{10.39}$$

где σ - толщина стенки желоба, м.

Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до верхних кромок желобов (рис. 10.1) определяется по формуле:

$$\Delta h = \frac{H_{ф} e}{100} + 0{,}3, \text{ м}, \tag{10.40}$$

где $H_{ф}$ - высота фильтрующего слоя, м; e - относительное расширение фильтрующей загрузки, принимаемое в зависимости от типа фильтра и загрузки, %.

Верхние кромки желобов должны быть горизонтальны, а лотки иметь уклон 0,01 к сборному каналу. Загрязненная промывная вода отводится по

желобам и свободно изливается в сборный канал. Расстояние от дна желоба до дна сборного канала (рис. 10.1) определяется по формуле:

$$H_к \geq 1{,}73\sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{gA^2}} + 0{,}2\text{, м,} \qquad (10.41)$$

где $q_{кан}$ - расход воды по каналу, м^3/с; A - ширина канала, м.

При водовоздушной промывке фильтров принимается система горизонтального (низкого) отвода промывной воды с пескоулавливающим желобом, показанная на рис. 10.4.

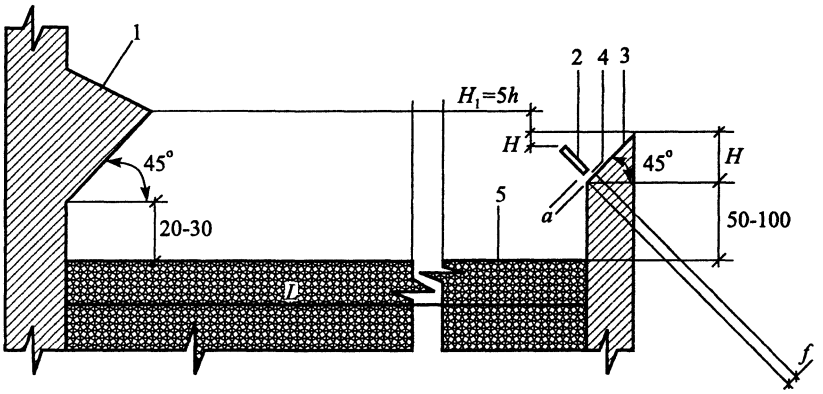


Рис. 10.4. Система горизонтального (низкого) отвода промывной воды:
1 - струенаправляющий выступ; 2 - переливная стенка пескоулавливающего желоба; 3 - задняя стенка желоба; 4 - щель для отвода песка; 5 - уровень загрузки

Первоначально определяется удельный расход промывной воды на 1 м водослива по выражению:

$$q_{уд} = W \cdot L\text{, л/(с·м}^2\text{)}, \qquad (10.42)$$

где W - интенсивность подачи воды при совместной водовоздушной промывке, л/(с·м^2); L - расстояние от противоположной стенки фильтра до перелива, м.

По величине удельного расхода принимаются основные размеры конструктивных элементов пескоулавливающего желоба, показанные на рис. 10.4 и в табл. 10.4. Для образования горизонтального потока воды на противоположной стенке фильтра выполняется струенаправляющий выступ. Глубина сборного канала определяется по формуле (10.41).

Таблица 10.4

Определение размеров пескоулавливающего желоба

Удельный расход воды $q_{уд}$, л/(с·м^2)	Размеры, мм			
	H	h	a	f
25	320	25	20	30 - 40
20	250	20	20	
15	210	20	15	
10	170	20	15	

Расчет потерь напора в фильтрах при промывке

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 в центральном коллекторе (канале) и распределительных системах из перфорированных труб рекомендуется определять по формуле:

$$h_1 = \xi \frac{V_к^2}{2g} + \frac{V_р^2}{2g}, \text{ м}, \qquad (10.43)$$

где ξ - коэффициент сопротивления; $V_к, V_р$ - соответственно скорости движения воды в центральном коллекторе канала и распределительных трубах, м/с.

Коэффициент сопротивления определяется:

- для распределительных труб с круглой перфорацией – по выражению

$$\xi = \frac{2{,}2}{к^2} + 1,$$

- со щелями под углом 90° к оси трубы – по выражению

$$\xi = \frac{4}{к^2} + 1,$$

где $к$ - отношение суммы площадей всех отверстий распределительной системы к площади сечения центрального коллектора.

Если распределительная система выполняется из щелевых колпачков, то потери напора в них определяются по формуле:

$$h_к = \frac{v_щ^2}{2g\mu^2}, м, \quad (10.44)$$

где $v_щ$ - скорость движения воды или водовоздушной смеси в щелях колпачков, принимаемая не менее 1,5 м/с; μ - коэффициент расхода, принимаемый равным 0,5.

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 [19]

$$h_2 = 0{,}022 H_{гр} W, м, \quad (10.45)$$

где $H_{гр}$ - высота гравийных поддерживающих слоев, м; W - расчетная интенсивность промывки, л/с·м^2.

Потери напора в фильтрующем слое определяются по формуле

$$H_а = H_ф(1 - m_0)\gamma_ф, м, \quad (10.46)$$

где $H_ф$ – высота фильтрующего слоя, м; m_0 – коэффициент пористости загрузки до расширения, принимаемый для песка 0,4, для антрацита 0,5–0,55, для керамзита – 0,7–0 ,75; $\gamma_ф$ – удельный вес взвешенной в воде загрузки, т/м^3, определяемый по выражению $\gamma_ф = \gamma_з - \gamma_в$; $\gamma_з$ – удельный вес загрузки, принимаемый для песка 2,65 т/м^3, для антрацита – 1,7 т/м^3, для керамзита – 1,73 т/м^3; $\gamma_в$ – удельный вес воды, равный 1 т/м^3.

В фильтрующем слое из кварцевого песка потери напора можно определить и по эмпирической формуле А. И. Егорова [19]

$$H_з = (a + b \cdot W)H_ф, \quad (10.47)$$

где a и b - параметры кварцевого песка, которые принимаются в зависимости от размеров зерен: при крупности зерен 0,5–1,0 мм $a = 0{,}76$, $b = 0{,}017$; при крупности зерен 1,0–2,0 мм $a = 0{,}85$, $b = 0{,}004$.

Определение диаметров трубопроводов на станции

Диаметры трубопроводов определяются по таблицам для гидравлического расчета стальных труб [18] по расчетному расходу и рекомендуемой скорости. Диаметры трубопроводов, обслуживающих каждый фильтр, определяются из условия форсированного режима работы, т.е. при выключении одного фильтра на промывку.

Результаты гидравлического расчета трубопроводов рекомендуется свести в табл. 10.5.

Таблица 10.5

Гидравлический расчет трубопроводов

Назначение трубопровода	Формула для определения расхода воды, л/с	Рекомендуемая скорость, м/с	Диаметр труб, мм	Расчетная скорость, м/с
Подача осветленной воды на все фильтры	$q = \frac{\alpha \cdot Q_{п}}{24 \cdot 3{,}6}$	0,8 - 1,2		
То же на один фильтр	$q_1 = \frac{q}{N - 1}$	≤1,5		
Отвод фильтрата с одного фильтра	та же	≤1,5		
Отвод фильтрата в резервуар чистой воды со всех фильтров	$q_{ф} = \frac{\alpha \cdot Q_{п}}{24 \cdot 3{,}6}$	0,8 – 1,2		
Подача промывной воды	$q_{пр} = fW$	≤2,0		
Отвод загрязненной промывной воды	та же	1,5 – 2,0		
Опорожнение фильтра	-		100 - 200	

Примечание: в формулах (табл. 10.5): α - коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды, принимаемый 1,02 - 1,08; N - количество фильтров; $Q_{п}$ - полезная производительность станции, м^3/сут; f - площадь одного фильтра, м^2; W - интенсивность промывки фильтра, л/(с·м^2).

Установки для подачи воды на промывку фильтров

Вода на промывку фильтров может поступать от специальной насосной установки или промывного бака (рис. 10.5).

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.

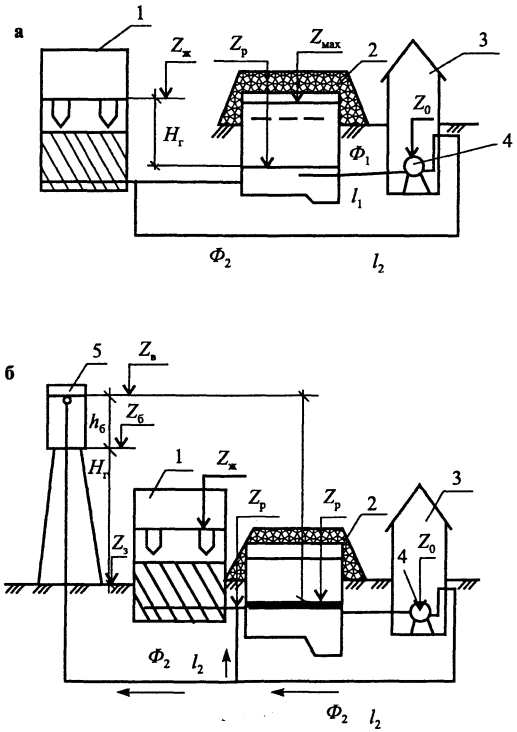


Рис. 10.5. Принципиальная схема промывки фильтров:
а - от промывного насоса, б- от промывной башни; 1 - фильтр; 2 - резервуар чистой воды; 3 - здание насосной станции; 4 - промывной насос; 5 - башня для подачи промывной воды

Насосная установка

Насосная установка рассчитывается на подачу воды для одной промывки фильтра. В установке может быть один или два рабочих агрегата и один резервный. Подача насосной установки определяется по формуле (10.10), а напор по формуле:

$$H_{н} = H_{г} + \Sigma h_{ф} + \Sigma h + h_{з}, \text{ м}, \tag{10.48}$$

где $H_{г} = Z2_{ж} - Z_{р}$ - геометрическая высота подъема воды от минимального расчетного уровня ($Z_{р}$) воды в резервуаре чистой воды до верхней кромки желобов фильтра ($Z_{ж}$), м; $h_{з}$ - запас напора, принимаемый равным 1,5 м; $\sum h_{ф}$ - общие потери напора в фильтре при его промывке, определяются по формулам (10.43 -10.47); $\sum h$ - общие потери напора во всасывающих и напорных трубопроводах, подводящих воду к фильтру.

Потери напора можно определить по формулам:

$$\Sigma h = 1{,}1(i_1 l_1 + i_2 l_2); \tag{10.49}$$

$$\Sigma h = 1{,}1 q_{пр}^2 (S_{o1} l_1 + S_{o1} l_2), \tag{10.50}$$

где i - гидравлический уклон, принимаемый по [18]; l - длина трубопроводов, м; S_o - удельное гидравлическое сопротивление, принимаемое по [18] в зависимости от диаметра и материала труб; $q_{пр}$ - расчетный расход воды на промывку, определяемый по формуле (10.10), л/с; 1,1 - коэффициент, учитывающий потери напора на местные сопротивления в фасонных частях и арматуре. Индексы $_1$ и $_2$ относятся к всасывающему и напорному трубопроводам.

По подаче и напору подбирается марка насоса. Насосы следует устанавливать под «заливом».

Промывка фильтров из бака

Емкость бака рассчитывается из условия приема объема воды, необходимого для двух промывок фильтра, по формуле:

$$W_{б} = 2 \cdot 3{,}6 W t f, \text{ м}^3, \tag{10.51}$$

где f - площадь одного фильтра, м^2; W - интенсивность промывки, л/(с·м^2); t - продолжительность промывки, ч.

Для обеспечения самотечного движения промывной воды из бака до кромки желобов фильтров отметка низа бака рассчитывается по выражению

$$Z_б = Z_ж + \sum h_ф + \sum h + h_а, \text{ м}, \qquad (10.52)$$

где $Z_ж$ - отметка кромки желобов фильтров, принимаемая по высотной схеме; $\sum h_ф$ - суммарные потери напора в фильтре, определяемые по формулам 10.43–10.47; $\sum h$ - суммарные потери напора в трубопроводах, подающих промывную воду из бака к самому удаленному фильтру, определяемые по формулам 10.49–10.50; $h_а$ - запас напора, принимаемый равным 1,5 м.

Высота башни до низа бака составит:

$$H_б = Z_б - Z_з, \text{ м}, \qquad (10.53)$$

где $Z_з$ - планировочная отметка земли.

Размеры бака принимаются в зависимости от его объема из соотношения высоты $h_б$ к его диаметру $d_б$, равного 0,7.

Отметка уровня воды в баке составит:

$$Z_в = Z_б + h_б, \text{ м}. \qquad (10.54)$$

Подача насосной установки, подающей воду в промывной бак, определяется исходя из условий наполнения бака в интервалы между промывками фильтров при форсированном режиме работы по формуле:

$$q_н = K_1 \frac{3{,}6 f W t_1 n}{m}, \text{ м}^3, \qquad (10.55)$$

где K - коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5; f, W, t_1 - см. формулу (10.51); n - общее число промывок фильтров станции в сутки; m - число часов работы станции в сутки, ч.

Напор насосной установки, подающей воду в промывной бак, определяется по формуле:

$$H_н = H_г + h_з + \Sigma h\text{, м,} \qquad (10.56)$$

где $H_г = Z_в - Z_р$ - геометрическая высота подъема воды от минимального расчетного уровня воды в резервуаре (или от низа трубы, отводящей фильтрат) до уровня воды в баке, м; $h_з$ - запас напора, принимаемый 1,5 м; $\sum h$ - суммарные потери напора во всасывающих и напорных трубопроводах насосной установки, определяемые по формулам 10.49 и 10.50.

По необходимой подаче и напору подбирается марка насосов. К установке принимаются рабочие насосы и к ним один резервный. Насосы следует устанавливать под «заливом». Чтобы определить суммарные потери напора во всасывающих и напорных трубопроводах, необходимо предварительно подобрать их диаметры по подаче, найденной по формуле (10.55).

Медленные фильтры

Медленные фильтры представляют собой сборные или монолитные железобетонные резервуары прямоугольной формы в плане, заполненные фильтрующим материалом, уложенным на поддерживающие слои из гравия или щебня с соответствующей дренажной системой и коммуникациями.

Высоту слоев загрузки фильтрующего и поддерживающего материалов принимают по расчету, причем общая высота загрузки медленных фильтров должна быть не менее 0,75 м.

Дренаж медленных фильтров может выполняться из перфорированных труб, кирпича или бетонных кубиков 100х100х100 мм, уложенных с прозорами. Для фильтров площадью ≤15 м^2 устраивают в бетонном дне лоток для отвода фильтрованной воды вместо дренажа.

Медленные фильтры оборудуются трубопроводами, запорной и регулирующей арматурой, обеспечивающей подачу воды снизу вверх для наполнения фильтра перед пуском чистой воды. Она также обеспечивает сброс первого фильтрата в сток в течение осветлительного созревания, подачу осветляемой воды на фильтр сверху на уровне песка во избежание его размыва, отвод фильтрованной воды с фильтра, отвод промывной воды и полное опорожнение, вентиляцию дренажа, выводимую на 1,5 м выше уровня воды в фильтре. Все трубопроводы выводятся в камеру управления [20].

Суммарная площадь медленных фильтров определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_п}{mVK}\text{, м}^2\text{,} \qquad (10.57)$$

где $Q_{п}$ - производительность станции, м^3/сут; m - продолжительность работы станции в течение суток, ч; V - расчетная скорость фильтрования, принимаемая 0,1–0,2 м/ч, при этом скорость выше 0,1 м/ч принимается только на время промывки; K - коэффициент, учитывающий выключение одной секции фильтра на ремонт или чистку.

Величина коэффициента K определяется по выражению:

$$K = \frac{T_{п}}{T}, \tag{10.58}$$

где $T_{п}$ - продолжительность периода полезной фильтрации секции фильтра, ч.

Продолжительность периода определяется по формуле:

$$T_{п} = \frac{\Gamma}{(C_{н} - C_{о}) \cdot V}, \text{ ч}, \tag{10.59}$$

где Γ - расчетная минимальная грязеемкость медленного фильтра, принимается при расчете 1000 - 2000 г/м^2; $C_{н}$, $C_{о}$ - содержание взвешенных веществ в исходной и фильтровальной воде, г/м^3; T - продолжительность фильтроцикла, ч.

Продолжительность фильтроцикла определяется по выражению:

$$T = T_{п} + (t_1 + t_2 + t_3), \text{ ч}, \tag{10.60}$$

где t_1 - продолжительность опорожнения фильтра до отметки промывного горизонта, ч.

Она определяется

$$t_1 = \frac{h + 0{,}25}{V}, \text{ ч}, \tag{10.61}$$

где h - высота слоя воды над фильтрующей загрузкой, принимается равной 1,5 м; t_2 - продолжительность регенерации фильтрующей загрузки одной секции, ч.

Продолжительность регенерации определяется при гидросмыве загрязнений без удаления песка из фильтра по формуле:

$$t_2 = \frac{lt}{3600}, \text{ ч}, \tag{10.62}$$

где l - длина одной секции фильтров, принимается не более 60 м; t - продолжительность периода смыва загрязнений с полосы шириной 1 м, принимается 18–20 с; $t_з$ - продолжительность периода осветлительного созревания загрузки, принимается 1 ч.

Размеры одной секции фильтров должны быть не более: ширина $b \leq 6$ м, длина $l \leq 60$ м. При определении размеров желательно использовать типовые проекты.

Полезная площадь одной секции фильтров будет равна:

$$f = b \cdot l, \text{ м}^2. \tag{10.63}$$

Количество секций фильтров должно быть не менее трех и определяется по формуле:

$$n = \frac{F}{f}, \text{ шт.} \tag{10.64}$$

После подбора состава загрузки и поддерживающих слоев определяется высота фильтра по формуле (10.8), в которой $H_в$ принимается 1,5 м.

При определении дополнительной высоты фильтра по формуле (10.9) объем воды, накапливающейся за время простоя секции фильтра, находится по формуле

$$W_0 = fV(t_1 + t_2 + t_3), \text{ м}^3, \tag{10.65}$$

где значения буквенных выражений приведены в формулах (10.56–10.61).

Общая площадь фильтров, в которых накапливается вода за время простоя, определяется по формуле:

$$\Sigma f = F - f, \text{ м}^2. \tag{10.66}$$

Если дренаж медленных фильтров принят из перфорированных труб, то расчет его ведется так же, как и для скорых фильтров, по расходу воды, отводимой или подаваемой на секцию фильтра:

$$q = \frac{Q_п}{3{,}6mn}, \text{ л/с}, \tag{10.67}$$

где $Q_{п}, m$ - см. формулу (10.57); n - количество секций.

При выполнении дренажа из кирпича или бетонных кубиков их устанавливают рядами с прозорами так, что между рядами образуются каналы, перекрываемые кирпичом или железобетонными плитами 342х342х50 мм с отверстиями. Схемы устройства таких каналов показаны на рис. 10.6. Ориентировочное количество каналов можно определить по формуле:

$$n_{к} = \frac{b - 2l_{к}}{A_{к} + l_{к}}, \text{ шт,} \qquad (10.68)$$

где b - ширина секции фильтра, м; $l_{к}$ - длина кирпича или кубика, м; $A_{к}$ - ширина канала, принимаемая для кирпича 0,2 м, для кубика - 0,25 м.

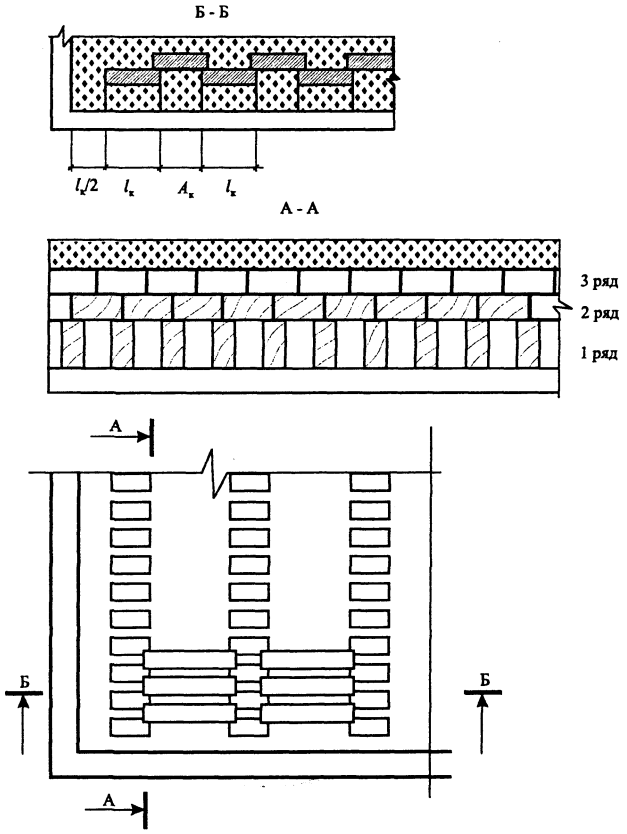


Рис. 10.6. Принципиальная схема дренажа медленных фильтров

Диаметры труб определяются гидравлическим расчетом по расходу и скорости движения воды в них. Диаметр трубопровода для подачи воды на смыв загрязнений при регенерации верхнего слоя песка следует производить по расчетному расходу $q_n = q_o b$ при удельном расходе $q_o = 9$ л/(с·м^2).

Общий расход воды на регенерацию песка одной секции фильтра определяется по формуле:

$$W = q_o \cdot b \cdot t_2, \text{ м}^3, \tag{10.69}$$

где q_o - удельный расход воды на смыв загрязнений с 1 м^2 загрузки, принимаемый 0,009 м^3/(м^2·с); b - ширина секции фильтра, м; t_2 – время промывки фильтра, ч.

После 15–20 фильтроциклов производится полная очистка (промывка) всего песка или его замена.

Отмывка песка производится с помощью установки, включающей гидроэлеватор с бункером, в который загружается загрязненный песок и транспортируется в сепаратор, где он отмывается и снова подается на фильтр. Расход воды на транспортировку и перемывку 1 м^3 песка составляет 30 м^3. Производительность установки по песку - 2 м^3/ч. Общий расход воды составляет 60 м^3/ч. Вода на перемывку песка забирается из трубопровода, подающего воду на фильтрацию с помощью насоса.

Контактные осветлители

Станции контактного осветления воды включают входные устройства и контактные осветлители.

Входные устройства предназначены для обеспечения стабильного напора, удаления из воды крупных взвешенных примесей и планктона, а также для смешения и контакта воды с вводимыми реагентами и выделения воздуха.

Входное устройство представляет собой единый блок, включающий барабанные сетки (БС), или микрофильтры (МФ); входную камеру и смесители.

Барабанные сетки, или микрофильтры, размещают в специальных ваннах над входной камерой, а смесители - во входной камере на выходе из них воды.

На контактных осветлителях (КО) происходит окончательное осветление воды до требуемых норм [20].

Один из возможных вариантов входного устройства приведен на рис. 10.7.

Количество рабочих БС и МФ определяется по выражению:

$$N = Q / q, \text{ шт}, \tag{10.70}$$

где Q - полная производительность станции осветления воды, м^3/сут; q - производительность одной БС или МФ, м^3/сут, принимаемая по табл. 10.6.

В зависимости от количества рабочих БС или МФ принимают резервные.

Площадь, занимаемая БС или МФ с учетом размеров подводящих и отводящих каналов, определяется по формуле:

$$F = nf_в + m_1 f_п + m_2 f_0, \text{ м}^2, \qquad (10.71)$$

где n - количество ванн, в которых размещаются рабочие и резервные БС или МФ; m_1, m_2 - количество подводящих и отводящих каналов; $f_в$, $f_п$, f_0 - площади ванн, подводящих и отводящих каналов, м^2.

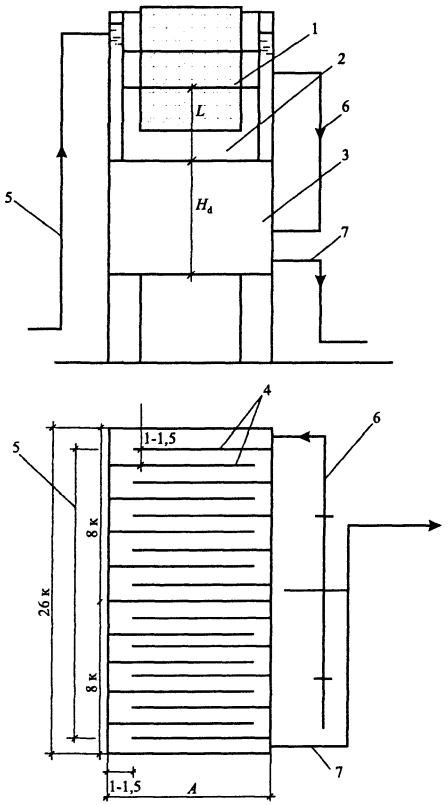


Рис. 10.7. Принципиальная схема микрофильтров (барабанных сеток) с контактными камерами:

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

Таблица 10.6

Характеристики сетчатых барабанных фильтров

Марка	Производительность, q, тыс. $м^3$/сут	Размеры барабана, мм		Размеры ванны, мм		
		диаметр, ∅	длина, *l*	длина, *L*	ширина, *B*	расстояние от оси до дна, *C*
МФ 1,5х1	4	1550	1230	2095		
МФ 1,5х2	8	-//-	2305	3160	2660	1000
МФ 1,5х3	12	-//-	3370	4196		
МФ 3х1,5	15	3050	1714	2606		
МФ 3х3	30	-//-	3370	4122	4060	1700
МФ 3х4,5	45	-//-	4744	5635		
БС 1,5х1	10	1550	1230	2095		
БС 1,5х2	20	-//-	2305	3160	2660	1000
БС 1,5х3	30	-//-	3370	4196		
БС 3х1,5	35	3050	1714	2606	4060	1700
БС 3х3	70	-//-	3370	4122		

Контактная камера должна иметь не менее двух отделений. Общая площадь контактной камеры численно принимается равной площади, занимаемой БС или МФ, определяемой по формуле (10.70). Если для смешения раствора коагулянта с обрабатываемой водой применяются встроенные во входную камеру смесители, то общая площадь контактной камеры определяется с учетом площади смесителей по выражению:

$$F_{общ} = F + f_c, м^2. \qquad (10.72)$$

Объем контактной камеры определяется по суммарному времени пребывания воды в ней, необходимому для смешения и контакта с реагентами:

$$W_к = \frac{q_к \Sigma t}{60}, \qquad (10.73)$$

где $q_к$ - часовой расход, м^3/ч; $\sum t$ - суммарное время пребывания воды в камере, мин.

Для определения величины $\sum t$ 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.

Высота камеры определяется, исходя из найденных объема и площади, и должна быть не менее 1,5 м:

$$H_к = \frac{W_к}{F_{общ}}, \text{ м.} \qquad (10.74)$$

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.

Перепад уровней воды между контактными осветлителями и входной камерой определяется по формуле:

$$H = 0{,}8h_з + h_с, \qquad (10.75)$$

где $h_з$ - предельно допустимая потеря напора в песчаном слое загрузки, принимаемая для кварцевого песка численно равной высоте его слоя, м; $h_с$ - сумма всех потерь напора на пути движения воды от начала входной камеры до загрузки осветлителя, м.

Отвод воды из входных камер на контактные осветлители производится на отметке не менее чем на 2 м ниже уровня воды в осветлителях. Принципиальные схемы КО приведены на рис. 10.8.

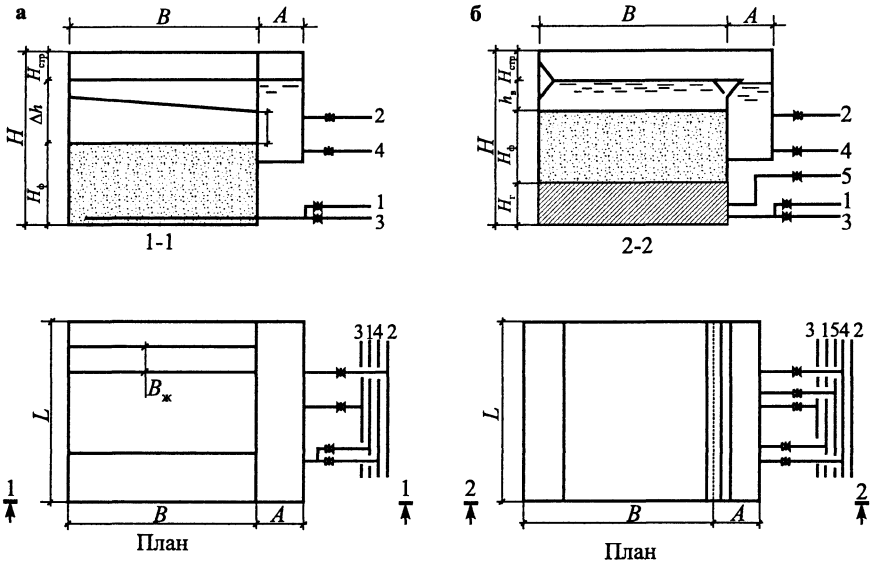


Рис. 10.8. Принципиальная схема контактного осветлителя:
а - типа КО-1; б - типа КО-3; 1 - подача исходной воды; 2 - отвод фильтрата; 3 - подача промывной воды; 4 - отвод промывной воды; 5 - воздуховод

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.

Общая площадь контактных осветлителей определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_{\text{п}}}{mV - n(q + Vt_1 + t_{\text{c}}V/60)}, \text{ м}^2, \qquad (10.76)$$

где $Q_{\text{п}}$, m, n, t_1 - значения которых приведены в формуле (10.1); V, t_{c} - соответственно скорость фильтрования, м/ч, и продолжительность сброса первого фильтрата, мин, принимаемые по табл. 10.7; q - удельный расход воды на промывку контактного осветлителя, $\text{м}^3/\text{м}^2$, рассчитываемый по формулам (10.3), (10.4), в которых величины интенсивности подачи воды и продолжительность промывки принимаются по табл. 10.7.

Для получения воды, отвечающей нормативным требованиям на питьевую воду, приведенные в табл. 10.7, следует принимать нижние пределы скоростей фильтрования. При определении удельного расхода воды на одну промывку контактного осветлителя типа КО-1 следует пользоваться формулой (10.3), а типа КО-3 – формулой (10.4). 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 (10.5), затем необходимо проверить соблюдение условия (10.6) и определить площадь одного контактного осветлителя по формуле (10.7). При дальнейших расчетах и конструировании найденные параметры КО проставляются на схемах и эскизах.

Таблица 10.7

Параметры работы контактных осветлителей

Наименование показателя	Тип осветлителя	
	без поддерживающих слоев	с поддерживающими слоями
Скорость фильтрования, м/ч:		
при нормальном режиме	4,0 – 5,0	5,0 - 5,5
при форсированном режиме	5,0 - 5,5	5,5 – 6,0
Продолжительность сброса первого фильтрата, мин	5 - 10 (10 - 15)	10 – 12 (12 – 15)
Интенсивность подачи воды на промывку, л/(с·м^2)	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 фильтрата при промывке КО неочищенной водой.

Конструирование и компоновка КО производятся 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.

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.

Диаметр трубопровода для опорожнения определяется по таблицам гидравлического расчета по экономической скорости и расходу $q_{оп}$, рассчитываемому по формуле:

$$q_{\text{оп}} = \frac{fV_{\text{в}}}{3{,}6}, \text{ л/с} \qquad (10.77)$$

где f - площадь одного КО, м^2; $V_{\text{в}}$ - скорость нисходящего движения воды в КО при его опорожнении, м/ч.

При очистке воды на хозяйственно-питьевые нужды контактные осветлители должны быть отделены от коридора управления остекленными перегородками высотой не менее 2,5 м, причем нижняя панель перегородок на высоту 1–1,2 м выполняется глухой (неостекленной).

Для КО в качестве фильтрующего материала используется кварцевый песок. Состав фильтрующей загрузки и гравийных поддерживающих слоев принимается по [2] или табл. 10.8 в зависимости от типа КО.

Высота КО определяется по формуле (10.8), в которой вместо $H_{\text{в}}$ необходимо подставить Δh, определяемую по формуле (10.40).

В КО с поддерживающими гравийными слоями применяются раздельные трубчатые распределительные системы для подачи воды и воздуха с круглой перфорацией.

Таблица 10.8

Состав фильтрующей загрузки

Контактные осветлители	Высота гравийных и песчаных слоев (в м) с крупностью зерен (в мм)					
	40 - 20	20 - 10	10 - 5	5 - 2	2 - 1,2	1,2 - 0,7
С поддерживающими слоями	0,2 - 0,25	0,1 - 0,15	0,15 - 0,2	0,3 - 0,4	1,2 - 1,3	0,8 - 1
Без поддерживающих слоев	-	-	-	0,5 - 0,6	1 - 1,2	0,8 - 1

Примечание: для КО с поддерживающими слоями верхняя граница гравия крупностью 40-20 мм должна быть на уровне верха труб распределительной системы. Общая высота загрузки должна быть не более 3 м.

Расчет и конструирование их производится аналогично фильтрам. В КО без поддерживающих слоев распределительная система рассчитывается в соответствии с формулами (10.22–10.29).

Расчет устройств для сбора и отвода воды при промывке КО-1 водой ведется по формулам (10.37–10.41). Причем в конструкции желобов следует

предусматривать над их кромками пластины с треугольными вырезами высотой и шириной 50–60 мм, с расстояниями между их осями 100–150 мм.

Устройства для сбора и отвода воды при водовоздушной промывке в КО-3 производятся согласно формуле 10.42.

Вода на промывку КО может подаваться очищенная или неочищенная. При использовании очищенной воды должен быть предусмотрен разрыв струи перед подачей воды в емкость для хранения. Непосредственная подача воды на промывку из трубопроводов и резервуаров фильтровальной воды не допускается. Вода подается или специальной насосной установкой, расчет которой производится по формулам (10.47–10.50), или от напорного промывного бака, который рассчитывается по формулам (10.51–10.54). Прежде чем приступить к расчету установок для промывки КО, необходимо определить диаметры всех коммуникаций (трубопроводов) и потери напора в КО при его промывке. Режим промывки принимается в зависимости от принятого типа КО.

Контактные префильтры применяют при двухступенчатом фильтровании для предварительной очистки воды перед скорыми фильтрами (второй ступени). Схему очистки воды с двухступенчатым фильтрованием следует применять в тех случаях, когда объемная коагуляция в отстойниках протекает медленно, например, при низких температурах воды или при малом резерве щелочности. Контактные префильтры – скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование) применяются при любой производительности, мутности исходной воды до 300 мг/л, цветности до 120 град. Станция осветления воды включает входные устройства, контактные префильтры и скорые фильтры.

Конструкция контактных префильтров аналогична конструкции контактных осветлителей с поддерживающими слоями и водовоздушной промывкой. Поэтому проектирование контактных префильтров производится как КО. При этом общую площадь контактных префильтров следует определять с учетом расхода воды на промывку $Q_{\text{пр}}$ скорых фильтров:

$$F = \frac{Q_{\text{п}} + Q_{\text{пр}}}{mV - n(q + Vt_1 + t_{\text{c}}V/60)}, \qquad (10.78)$$

где $Q_{\text{пр}} = 3{,}6q_{\text{пр}}tNn$ - расход воды на промывку скорых фильтров. Остальные обозначения приведены в формуле (10.76).

Скорость фильтрования принимается по табл. 10.9, в которой приведены основные параметры контактных префильтров. Перед подачей воды на скорые фильтры фильтрат одновременно работающих контактных префильтров необходимо смешивать в общем трубопроводе, отводящем воду с префильтров.

Таблица 10.9

Параметры контактных префильтров

Параметр	Величина параметра
Высота слоя песка (в м) с крупностью зерен:	
5 - 2 мм	0,5 - 0,6
2 - 1 мм	2,0 - 2,3
Эквивалентный диаметр зерен загрузки	1,1 - 1,3
Скорость фильтрования, м/ч:	
при нормальном режиме	5,5 - 6,5
при форсированном режиме	6,5 - 7,5

10.4. Интенсификация работы фильтров

Фильтрующий аппарат состоит из следующих элементов: корпуса, дренажа, загрузки, системы для отведения промывной воды, обслуживающих трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры, пульта управления.

От фильтрующего материала существенно зависят показатели работы фильтрующих установок. Материал должен соответствовать определенным требованиям по фракционному составу, степени однородности размеров зерен и пористости их слоя, обусловливающей грязеемкость загрузки, а также по механической прочности и химической стойкости в обрабатываемой воде.

Фильтрующий материал не должен содержать вредных химических включений в недопустимых количествах, быть недорогим и доступным.

Фильтры с зернистой загрузкой можно классифицировать по ряду основных признаков: 1) по скорости фильтрования: медленные (0,1–0,3 м/ч), скорые 5–15 м/ч) и сверхскоростные (36–100 м/ч); 2) по давлению, под которым они работают: открытые (или безнапорные), напорные; 3) по направлению фильтрующего потока: однопоточные (обычные скорые фильтры), двухпоточные (фильтры АКХ, ДДФ), многопоточные; 4) по крупности фильтрующего материала: мелкозернистые, среднезернистые, крупнозернистые; 5) по числу фильтрующих слоев: однослойные, двухслойные, многослойные.

Наиболее распространенным фильтрующим материалом является кварцевый песок – речной или карьерный. Кварцевый песок при небольшом содержании примесей известняка отвечает всем перечисленным выше требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам.

Другим фильтрующим материалом, традиционно применяемым для загрузки фильтров, является дробленый антрацит. Зерна дробленого антрацита имеют плотность меньшую, чем кварцевый песок, и поэтому он обычно используется в качестве верхнего слоя загрузки двухслойных фильтров. Предъявляемым требованиям по механической прочности и химической стойкости удовлетворяет антрацит классов: АП – антрацитовая плита, АК – антрацитовый кулак и АС - антрацитовое семечко мытое.

Керамзит представляет собой гранулированный пористый материал, получаемый обжигом глинистого сырья в специальных печах. Требуемые для загрузки водоочистных фильтров фракции керамзита могут быть получены либо отсевом из общей массы неоднородного керамзита, либо дроблением крупных гранул с последующим отсевом нужных фракций. Зерна дробленого керамзита имеют более развитую поверхность и, соответственно, лучшие технологические свойства по сравнению с окатанными зернами недробленого керамзита.

Горелые породы представляют собой метаморфизированные угленосные породы, подвергнутые обжигу при подземных пожарах. Необходимые фракции этого материала получают его дроблением с последующей сортировкой.

Вулканические шлаки – материалы, образовавшиеся в результате скопления газов в жидкой остывающей лаве. В Закавказье вулканические шлаки залегают в виде сыпучих материалов или в виде смеси щебня и песка. Свойства вулканических шлаков разных месторождений весьма различны.

Шунгизит получают путем обжига природного малоугленосного материала – шунгита, имеющего преимущественное распространение в Карелии. По своим свойствам шунгизит близок к дробленому керамзиту.

В качестве фильтрующих материалов используют также отходы промышленных производств: доменные шлаки и шлаки медно-никелевого производства. Достоинством шлаков является то, что они обычно имеют фракционный состав, близкий к тому, который требуется для загрузки водоочистных фильтров.

В качестве фильтрующего материала на фильтрах с плавающей загрузкой используют пенополистирол. Этот зернистый материал получают вспучиванием за счет тепловой обработки исходного материала – полистирольного бисера, выпускаемого химической промышленностью. В результате вспенивания получают плавающие в воде зерна плотностью от 100 до 200 кг/м^3.

Перечисленные материалы не исчерпывают всего многообразия местных фильтрующих материалов, предложенных в последние годы. Имеются данные о применении аглопорита, фарфоровой крошки, гранодиорита, габбродиабаза и т.д. Список этих материалов все время пополняется [11].

В последние годы в отечественной практике широко применяют скорые фильтры большой грязеемкости. Под грязеемкостью подразумевается количество загрязнений (кг), задержанных фильтрующей загрузкой аппарата в течение фильтроцикла (т.е. от промывки до другой промывки) и отнесенных к единице площади фильтрования. К числу скорых фильтров относят: однослойные, двухслойные, крупнозернистые, каркасно-засыпные и контактные фильтры, а также с загрузкой из вспененного полистирола, фильтры АКХ и ДДФ.

В водоподготовке нашел применение прямоточный открытый контактный фильтр КФ-5 с трехслойной фильтрующей загрузкой по 0,5 м каждый. Крупность зерен верхнего слоя (керамзит, аглопорит, полимеры) – 2,3–3,3 мм.

Среднего (антрацит, керамзит, горелые породы) – 1,25–2,0 мм. Нижнего (кварцевый песок, горелые породы) – 0,8–1,20 мм. Скорость фильтрования до 20 м/ч, интенсивность промывки 15 л/(с·м^2), продолжительность 6–8 мин.

Использование фильтров с плавающей полимерной загрузкой (ФПЗ) является одним из путей интенсификации процесса фильтрования природных вод. Как показали исследования Ж. М. Журбы [21], наиболее перспективными являются гранулы вспененного полистирола. При замене тяжелых фильтрующих загрузок плавающими существенно изменяется технология фильтрования воды, увеличиваются допустимые по сравнению с кварцевыми фильтрами концентрация взвеси в исходной воде и скорость фильтрования, значительно упрощается отмывка загрузки, отпадает необходимость в установке промывных насосов и специальных емкостей для промывной воды. Установлено, что гранулы полистирола обладают более высокими адгезионными и электрокинематическими свойствами по сравнению с зернами песка и их применение интенсифицирует процесс фильтрования в целом.

При безреагентной очистке воды на ФПЗ-2 и ФПЗ-3 для получения фильтрата, отвечающего нормам на питьевую воду, рекомендуется принимать допустимое содержание взвеси в воде до 500 мг/л, скорость фильтрования (в зависимости от физико-химических свойств воды и взвеси) – 0,6–2 м/ч, общую толщину двухъярусной или двухслойной загрузки – до 0,7–1,2 м, диаметр гранул плавающей загрузки – 0,3–1,5 мм, интенсивность промывки загрузки - 10–12 л/(с·м^2), продолжительность промывки – 3–4 мин. При промывке фильтров промывная вода подается сверху вниз.

Увеличение грязеемкости скорых фильтров можно осуществить применением комбинированной загрузки из нескольких материалов, отличающихся по крупности зерен и удельному весу. Это направление по интенсификации работы фильтров привело к созданию многослойных фильтров (МФ) [22,23].

Фильтрование воды в них осуществляется в направлении убывающей крупности зерен при нисходящем потоке фильтрации без предварительного ее отстаивания. МФ выше на 80–120 см двухслойных фильтров. Над дренажем большого сопротивления укладывается слой песка высотой 30–40 см крупностью зерен 0,5–1,0 мм, на него укладывается 40–50 см антрацитовой крошки крупностью 0,8–1,8 мм, а затем грубозернистый слой высотой 50–100 см крупностью 1,6–2,5 мм. В качестве загрузки верхнего грубозернистого слоя могут использоваться горелые породы, керамзит, синтетические материалы и пр. Крупность фракций загрузки МФ подбирается с расчетом несмешиваемости слоев в процессе промывки. МФ можно применять для безотстойного осветления воды при концентрации взвеси до 200–250 мг/л и цветности до 150 град. Скорость фильтрования принимается в период паводка до 8 м/ч и 10–12 м/ч – в другие периоды года. Интенсивность промывки принимается 12–16 л/(с·м^2), продолжительность 7–8 мин.

На данном этапе наиболее перспективным фильтрующим материалом (учитывая его доступность) является керамзит. Сочетая различную круп-

ность и различный объемный вес керамзитовой крошки, можно выполнить из нее все слои загрузки.

Для очистки отстоенной и неотстоенной воды (при мутности до 200–250 мг/л) может применяться совмещенный двухпоточный этажный фильтр-осветлитель (СДЭФО). Фильтр разделен промежуточным щелевым днищем на два этажа. Нижний этаж работает по принципу многослойного фильтра, а верхний – безгравийного контактного осветлителя. Вода с реагентами подается под щелевое днище, где поток разделяется на нисходящий и восходящий. Суммарная скорость фильтрования составит 16–20 м/ч. Оба этажа промываются одной и той же водой.

Достоинства: высокая производительность, сокращение процента промывной воды, количество арматуры как в обычном скором фильтре.

Недостатки: увеличивается строительная высота и усложняется конструкция по сравнению с многослойными фильтрами (МФ).

Глава 11. Установки для обеззараживания воды

11.1. 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 удается полностью обеззаразить воду; для этого требуется, однако, интенсивность ультразвукового излучения более 2 Вт/см^2 при продолжительности излучения 5–10 мин.

Действие ионизирующего излучения. По литературным данным, облучение воды рентгеновскими лучами, γ- и β-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 обеззараживают воду, свободную от взвешенных коллоидных примесей.

11.2. 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 оксидирует 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 условии 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, компонуемые 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 двухкратное хлорирование воды. При обработке высокоцветных вод, а также вод, богатых органическими веществами и бактериями, применяют двухкратное 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 оксидации органических защитных коллоидов, препятствующих процессу коагуляции, а также гуминовых веществ, обусловливающих цветность воды, с целью экономии коагулянта, расходуемого на его обесцвечивание. 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 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:

$$NH_2Cl + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OCl^- . \qquad (11.1)$$

Гипохлоритный ион 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 бактерицидно-

го 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.

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.

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 $Д'_{хл}$, мг/л:

$$g'_{х} = \frac{Q_{сут} Д'_{хл}}{24 \cdot 1000}, \text{ кг/ч;} \qquad (11.2)$$

- для вторичного хлорирования при принятой дозе $Д''_{хл}$, мг/л:

$$g''_{х} = \frac{Q_{сут} Д''_{хл}}{24 \cdot 1000}, \text{ кг/ч.} \qquad (11.3)$$

Часовой расход хлора определяется из выражения:

$$g_{х} = g'_{х} + g''_{х}, \text{ кг/ч.} \qquad (11.4)$$

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:

$$n_{\text{бал}} = \frac{g_{\text{х}}}{S_{\text{бал}}}, \text{ шт}, \qquad (11.5)$$

где $S_{\text{бал}} = 0{,}5 \div 0{,}7$ кг/ч - съем хлора с одного баллона без искусственного подогрева при температуре воздуха в помещении 18°С.

Для уменьшения количества расходных баллонов в хлораторной могут устанавливаться стальные бочки-испарители. Бочка имеет емкость 500 л и вмещает 625 кг хлора. Съем хлора с 1 м^2 боковой поверхности бочек составляет $S_{\text{хл}} = 3$ кг/ч, а боковая поверхность бочки составляет 3,65 м^2.

Тогда съем хлора с одной бочки будет равен:

$$q_{б} = F_{б} \cdot S_{\text{хл}}, \text{ кг/ч}. \qquad (11.6)$$

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 съем хлора до 5 кг/ч с одного баллона и, следовательно, сократить количество одновременно действующих расходных баллонов.

Количество баллонов, срабатываемых за сутки определяют по формуле:

$$n = \frac{g_{\text{х}}^{\text{сут}}}{\text{Е}_{\text{б}}}, \text{ шт}, \qquad (11.7)$$

где $g_{\text{х}}^{\text{сут}}$ – суточная потребность хлора, кг/сут; $\text{Е}_{\text{б}}$ – 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 1700х1400 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:

$$n_{\text{х}} = \frac{g_{\text{х}}^{\text{сут}} \cdot T_{\text{х}}}{\text{Е}_{\text{б}}}, \text{ шт}, \qquad (11.8)$$

где $T_{\text{х}}$ – количество дней хранения.

Доставка баллонов с расходного склада на очистную станцию производится по мере надобности автомашиной, электрокарами или другими видами транспорта.

11.3. Обеззараживание воды сильными 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.

Процесс обеззараживания воды сильными окислителями проходит в две ступени: сначала обеззараживающий агент диффундирует через оболочку внутрь клетки микроорганизма, а затем вступает в реакцию с энзимами внутри клетки.

Скорость процесса обеззараживания воды определяется кинетикой отмирания клеток в результате нарушения метаболизма, наступающего вследствие окисления энзимов 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 продолжаются 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 обусловливают 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 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. 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 (N_2, He, Ar) – вероятность детонации значительно снижается. В промышленных производствах допускается содержание ClO_2 в газовоздушной смеси по объему до 10% при отсутствии искры. Хорошо растворим в воде (до 20 объемов 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 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 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 ($NaClO_2$), используя при этом дополнительно установленный реактор разложения хлорита натрия и далее типовое оборудование для хлорирования.

11.4. 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 [24].

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 (рис. 11.1).

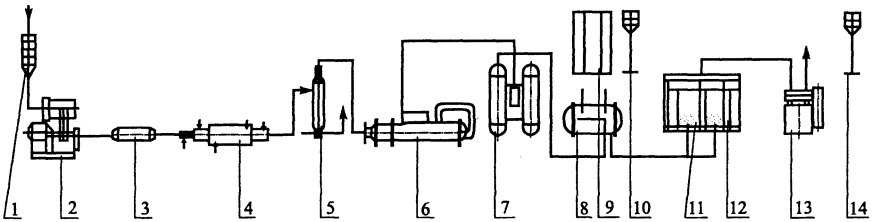


Рис. 11.1. Схема синтеза озона ОАО «Курганхиммаш»:
1 - глушитель шума с фильтром; 2 - компрессор; 3 – теплообменник-рекуператор; 4 - охладитель; 5 - влагоотделитель; 6 - холодильная машина для осушки воздуха; 7 - блок осушки воздуха; 8 - озонатор; 9 - блок питания озонатора; 10 - пост контроля загазованности 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 табл.11.1.

Таблица 11.1

Техническая характеристика стационарных поршневых компрессоров

Наименование показателей	Типы компрессоров			
	3С2ВП-10/8	3С5ВП-30/8	3ГП-20/8	2ГП-4/5
Производительность, $м^3$/мин	10	30	20	4

Продолжение таблицы 11.1

Абсолютное давление, всасывание, МПа (кгс/см^2), нагнетание, МПа (кгс/см^2)	0,1(1) 0,9(9)	0,1(1) 0,9(9)	0,1(1) 0,9(9)	0,102(1,02) 0,6(6)
Электродвигатель (тип)	А-2-101-8В	БСДК-15-2112	ДСК-12-24-12У4	4А280-10УЗ
Мощность, кВт	50	200	132	37
Частота вращения, об/мин	735	500	500	600
Габаритные размеры, мм	2540х1580х х2500	2925х1700х х3020	2645х1620х х2650	2040х900х х2035
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°С. В случае отсутствия в комплекте холодильника ХПК можно применить вместо него теплообменники ТАК. Для сглаживания пульсаций в воздушной смеси после компрессора и концевого холодильника устанавливается ресивер.

Аппаратура для воздухоподготовки

Ресиверы (воздухосборники) предназначены для выравнивания давления сжатого воздуха, смягчения 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 табл. 11.2.

Таблица 11.2

Техническая характеристика ресиверов

Марка оборудования	Рабочее давление, МПа	Рабочая температура, °С	Рабочая среда	Внутренний объем, м^3
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

Основные размеры приведены в табл. 11.3.

Таблица 11.3

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
h,	1800	2425	2500	3250	3625	4800	4630	5750
h_3	1740	3600	4010	4600	4595	5645	5550	6895
h_4	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 табл. 11.4.

Таблица 11.4

Технические характеристики влагоотделителей

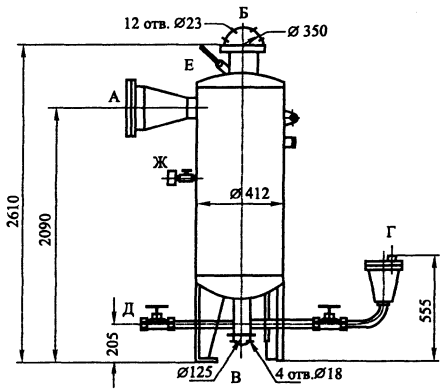
Технические показатели	Марка оборудования		
	ВО-10	ВО-30	ВО-100
Рабочая среда	воздух		
Рабочее давление, МПа	0,8		
Рабочая температура, °С	+35		
Производительность, $м^3$/мин	10	30	100

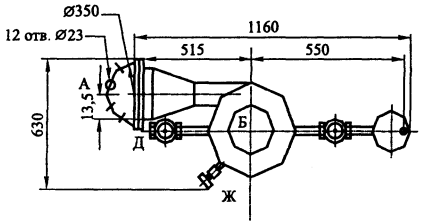
На рис. 11.2 представлен общий вид влагоотделителей ВО, а в табл. 11.5 приведены их основные размеры.

Таблица 11.5

Основные размеры влагоотделителей

Размеры, мм	Тип влагоотделителя		
	ВО-10	ВО-30	ВО-100
L	1550	1915	2825
B	320	375	540
I	2	3	4
H	770	770	960
D	219	273	400





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	М27х1,5	-
Ж	Для манометра	1	М20х1,5	-

Рис. 11.2. Влагоотделитель типа ВО

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 табл. 11.6.

Таблица 11.6

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, $м^3$/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 табл. 11.7 приведены технические характеристики блоков нагревного типа.

Таблица 11.7

Техническая характеристика блоков нагревного типа

Технические показатели	Марка оборудования		
	БОВ - 10	БОВ-30	БОВ-100
Производительность, $м^3$/мин	до 10	до 30	до 100
Расход воздуха на регенерацию, $м^3$/мин, не более	1,5	4,5	17

Продолжение таблицы 11.7

Среда	воздух		
Давление воздуха, МПа в режиме осушки в режиме регенерации	 0,6-0,8 0,07		
Точка росы осушенного воздуха, °С на адсорбенте силикагель на адсорбенте цеолит	 минус 40 минус 65		
Температура воздуха, °С на входе в блок на выходе из блока	 не выше 35 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 табл. 11.8.

Таблица 11.8

Техническая характеристика блоков безнагревного типа

Технические показатели	Марка оборудования	
	395-229.02	395-230.02
Производительность, $м^3$/мин	1,28	4,00
Расход воздуха на регенерацию, $м^3$/мин, не более	до 20% от подачи	до 20% от подачи
Среда	воздух	
Давление воздуха, МПа в режиме осушки в режиме регенерации	 0,6-0,8 0,03	
Точка росы осушенного воздуха, °С	минус 40	
Температура воздуха на входе в блок (номинальная), °С	30	
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 предназначе-

ны для получения озоно-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 табл. 11.9 представлены технические характеристики генераторов озона.

Таблица 11.9

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, $м^3/ч$, не более	4	7	18	20	25	38	64	82	97	125
Расход воздуха, $м^3/ч$, не более	40	75	130	235	315	435	745	1000	1275	1670

Аппараты смешения озоно-воздушной смеси с водой

В аппаратах воды озоно-воздушной смесью наиболее широко применяется метод барботажа. Аппараты и обвязочная арматура выполнены из нержавеющей стали. Техническая характеристика аппаратов ОВО представлена в табл. 11.10.

Таблица 11.10

Техническая характеристика аппаратов ОВО

Марка аппарата	Объем аппарата, $м^3$	Высота H, мм	Диаметр D, мм
ОВО - 1,5	1,5	3400	800

Продолжение таблицы 11.10

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 $м^3/ч$ (рис.11.3).

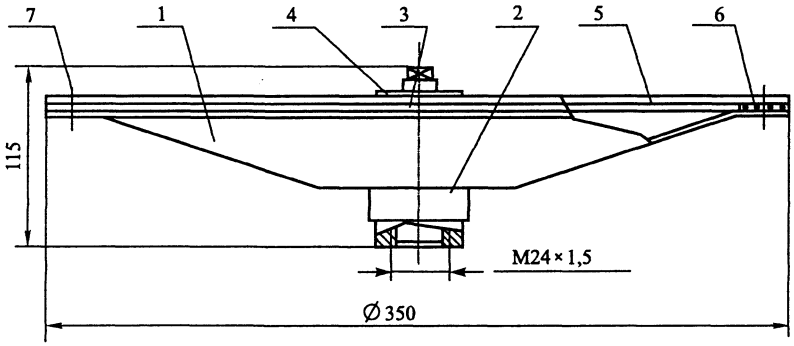


Рис. 11.3. Диспергатор Д-300 М-Р:
1 - корпус; 2 - распылитель; 3 - регулирующая игла; 4 - уплотняющая втулка; 5 - диск; 6 - прокладка; 7 - винт

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 озоно-воздушной 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.

В настоящее время выпускаются аппараты, техническая характеристика которых представлена в табл. 11.11.

Таблица 11.11

Техническая характеристика аппаратов разложения озона

Технические показатели	Марка оборудования	
	ТК-1600	КТО-630
Производительность, $м^3/ч$	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 компремирования, воздухоподготовки

Часовую потребность в озоне определяют по формуле:

$$Q_{оз} = \frac{D \cdot Q_ч}{K}, \text{ г/ч}, \qquad (11.9)$$

где D - доза озона (принимается 2-4 $г/м^3$); $Q_ч$ - часовой расход обрабатываемой воды, $м^3/ч$; K - коэффициент использования озона (принимается 0,95).

Количество озонаторов определяется по формуле:

$$N = \frac{Q_{оз}}{Q'_{оз}}, \text{ шт}, \qquad (11.10)$$

где $Q'_{оз}$ - единичная производительность озонатора под нагрузкой, принимается равной 75±5% от максимальной.

Марку генератора озона подбирают по табл. 11.9. По этой же таблице определяется расход воздуха Q, необходимый для его работы.

По этому расходу воздуха по табл.11.1, 11.2, 11.4–11.7, 11.10 подбирается следующее оборудование: компрессоры (с учетом 10% запаса по производительности); влагоотделитель; холодильные машины; автоматические блоки сушки и очистки воздуха; воздухосборники 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^3/ч, можно использовать контактные аппараты заводского изготовления (табл. 11.10). Объем контактного аппарата можно подобрать по формуле (11.11). 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 (рис. 11.4). 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.

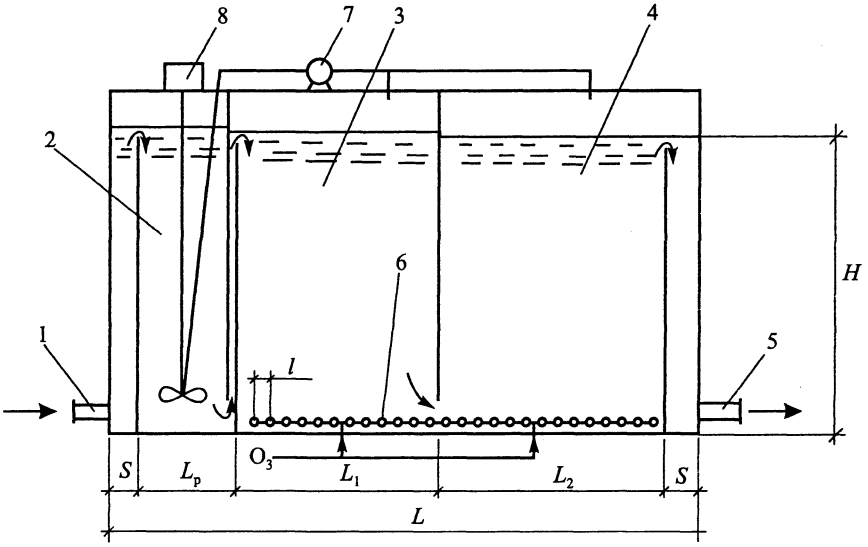


Рис. 11.4. Контактная камера озонирования барботажного типа:
1 - подача исходной воды; 2 - рекуперационное отделение; 3,4 - первая и вторая секции камеры; 5 - отвод воды; 6 - распределительная система ОВС; 7 - воздуходувка; 8 - механическая мешалка

Объем рекуперационного отделения W_p рассчитывается на время пребывания воды в нем $t_р = 2$ мин по формуле:

$$W_{\text{р}} = Q_{\text{полн}} \cdot t_{\text{р}}\text{, м}^3, \qquad (11.11)$$

где $Q_{\text{полн}}$ - полная минутная производительность станции, м^3/мин.

Площадь рекуперационного отделения определяется по формуле:

$$F_{\text{р}} = \frac{W_{\text{р}}}{H}\text{, м}^2, \qquad (11.12)$$

где H - высота слоя воды в контактной камере (принимается не менее 4,5 м).

Конструктивно принимая ширину камеры $B = 6$ м, длина рекуперационного отделения определится из выражения:

$$L_{\text{р}} = \frac{F_{\text{р}}}{B}\text{, м.} \qquad (11.13)$$

Используя формулы 11.11–11.13, 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 :

$$L = L_{\text{р}} + L_1 + L_2 + 2 \cdot S\text{, м,} \qquad (11.14)$$

где величина S (см. рис. 11.4) принимается 0,5 м.

Для распыления озоно-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 $f = 0{,}075$ м^2. Интенсивность подачи озоно-воздушной смеси i принимается 35–40 м^3/м^2·ч. Система распределения озоно-воздушной смеси приведена на рис. 11.5.

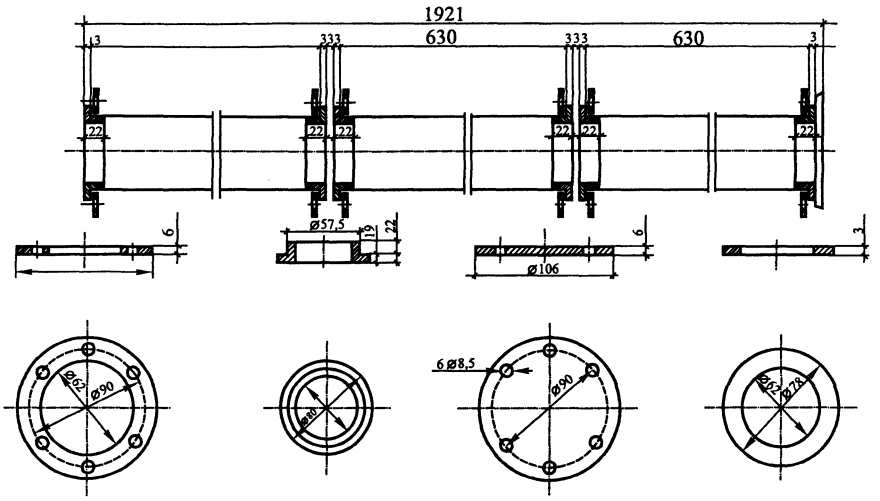


Рис. 11.5. Система распределения озоно-воздушной смеси

При подаче озоно-воздушной смеси в количестве, равном расходу воздуха генератора озона Q, необходимое количество труб составит:

$$N_T^1 = \frac{Q}{i \cdot f}, \text{ шт.} \qquad (11.15)$$

При ширине камеры $B = 6$ м на одно ответвление распылительной системы приходится n пористых труб. Задаваясь шагом между ответвлениями ($l = 0{,}3–0{,}6$ м) определяется количество ответвлений:

$$N_0 = \frac{L_1 + L_2}{l}, \text{ шт.} \qquad (11.16)$$

Общее количество пористых труб при выбранном шаге между ответвлениями рассчитывается по формуле:

$$N_\text{т}^2 = N_0 \cdot n, \text{ шт.} \qquad (11.17)$$

В случае $N_\text{т}^1 > N_\text{т}^2$ шаг уменьшают, при $N_\text{т}^1 < N_\text{т}^2$ – увеличивают для достижения примерного равенства между $N_\text{т}^1$ и $N_\text{т}^2$.

Расчет эжектора

В некоторых случаях целесообразно для подачи и смешения озоно-воздушной смеси с обрабатываемой водой использовать эжекторы. Эжектор рассчитывается по методике, приведенной в [25]. Схема эжектора представлена на рис. 11.6.

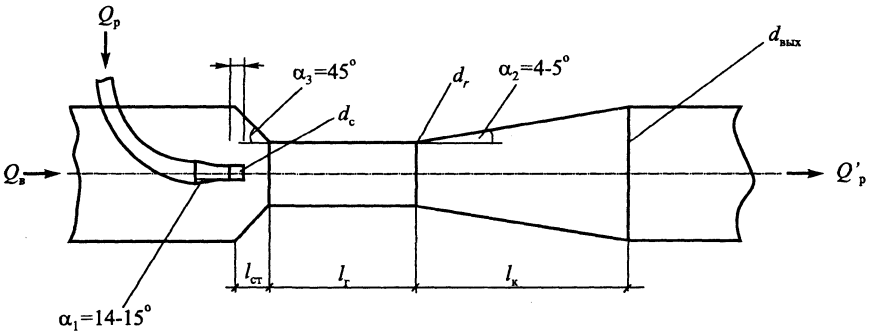


Рис. 11.6. Эжектор

Определяется объемный коэффициент пуска по выражению:

$$U = \frac{Q_в}{Q_р}, \qquad (11.18)$$

где $Q_в$ - объемный расход подсасываемой озоно-воздушной смеси, м^3/с; $Q_р$ - объемный расход рабочей среды обрабатываемой воды, м^3/с.

По графику на рис. 11.7 при $\frac{d_г}{d_c} = 1{,}75$ определяется соотношение:

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_р} = A, \qquad (11.19)$$

где $d_г$ -диаметр камеры смешения (горловина эжектора); d_c - диаметр выходного сечения сопла эжектора.

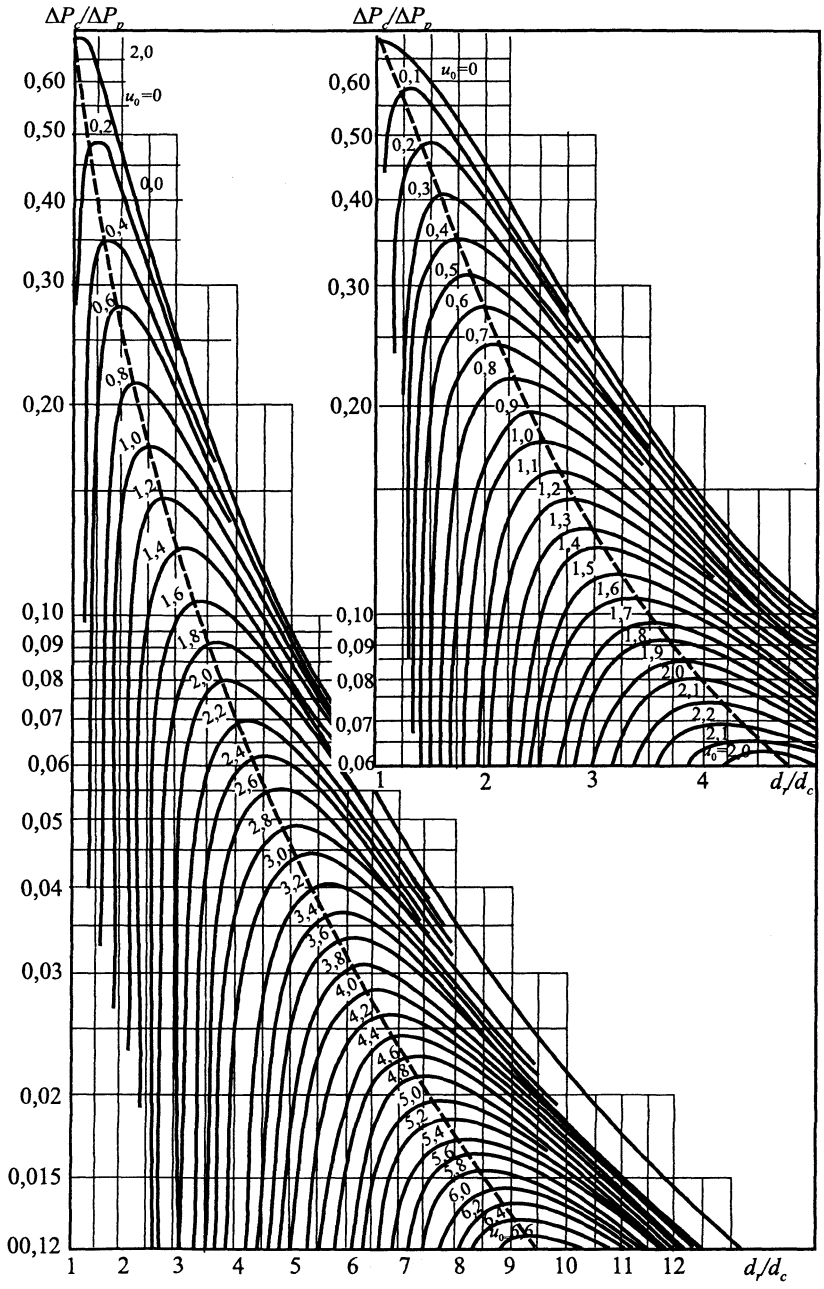


Рис. 11.7. Безразмерные рабочие характеристики $\Delta P_c / \Delta P_p$ водовоздушных эжекторов, построенные по методике Е.Л. Соколова и Н.М. Зингера

Величина $\Delta P_с$ определяется по формуле:

$$\Delta P_с = P_с - P_н, \text{ МПа}, \tag{11.20}$$

где $P_с$ - давление смеси сред на выходе из эжектора (давление сжатия); $P_н$ - давление озоно-воздушной смеси после озонатора (0,06–0,1 МПа).

Величина $\Delta P_р$ определяется по уравнению:

$$\Delta P_р = P_р - P_н, \text{ МПа}, \tag{11.21}$$

где $P_р$ - давление рабочей среды (обрабатываемой воды) перед эжектором, МПа.

Используя уравнения (11.19-11.21), можно определить величины $\Delta P_с$ и $P_с$:

$$\Delta P_с = \Delta P_р \cdot A, \text{ МПа}; \tag{11.22}$$

$$P_с = \Delta P_с \cdot P_н, \text{ МПа}. \tag{11.23}$$

При давлении $P_с$ объем газообразной среды на выходе из эжектора составит:

$$Q'_В = \frac{Q_В \cdot (P_Н + P_а)}{(P_с + P_а)}, \text{ м}^3/\text{с}, \tag{11.24}$$

где $P_а = 0{,}1$ МПа – атмосферное давление.

Общий расход смеси сред на выходе из эжектора составит:

$$Q'_р = Q_р + Q'_В, \text{ м}^3/\text{с}. \tag{11.25}$$

Диаметр сопла эжектора определяется по формуле:

$$d_c = \left\{ \frac{4 \cdot Q_р}{р \cdot f \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P_р}{с} \right)^{0,5}} \right\}^{0,5}, \text{ м}, \qquad (11.26)$$

где f - величина, принимаемая 0,95; ρ - плотность рабочей среды (воды).

Диаметр камеры смешения определяется по выражению:

$$d_г = 1,75 \cdot d_c, \text{ м}. \qquad (11.27)$$

Длина свободной струи (при $U_0 \leq 0,5$) составит:

$$l_{ст} = 3,12 \cdot d_c \left(\sqrt{0,083 + 0,76 \cdot U_0} - 0,29 \right), \text{ м}. \qquad (11.28)$$

Диаметр струи на входе в камеру смешения, т.е. на расстоянии $l_{ст}$ от выходного сечения сопла l_c, вычисляется по формуле:

$$d_{ст} = 3,4 \cdot d_c \sqrt{0,083 + 0,76 \cdot U_0}, \text{ м}. \qquad (11.29)$$

Диаметр входного трубопровода подачи жидкости при скорости $V \leq 2$м/с определяется по формуле:

$$d_{ВХ} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_р}{р \cdot V}}, \text{ м}. \qquad (11.30)$$

Диаметр выходного трубопровода смеси газ-жидкость определяется из выражения:

$$d_{ВЫХ} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q'_р}{р \cdot V}}, \text{ м}. \qquad (11.31)$$

Диаметр патрубка подвода озоно-воздушной смеси равен:

$$d_{\text{ОЗ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{В}}}{\text{p} \cdot V_{\text{В}}}}, \text{ м}, \qquad (11.32)$$

где $V_{в}$ - скорость движения газовой среды (принимается 15–20 м/с).

Длина камеры смешения определяется по соотношению:

$$l_{\text{г}} = (6-10) \cdot d_{\text{г}}, \text{ м}; \qquad (11.33)$$

длина конуса:

$$l_{\text{к}} = (6-7) \cdot (d_{\text{ВЫХ}} - d_{\text{г}}), \text{ м}; \qquad (11.34)$$

длина сопла:

$$l_{\text{с}} = (0{,}8-0{,}9) \cdot d_{\text{с}}, \text{ м}. \qquad (11.35)$$

Глава 12. Генеральные планы и высотные схемы сооружений станций водоподготовки

12.1. 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 организаций 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.

12.2. 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 $м^3$/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.

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.).

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 [26] 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 рис. 12.1, а по одноступенчатой схеме – на рис. 12.2.

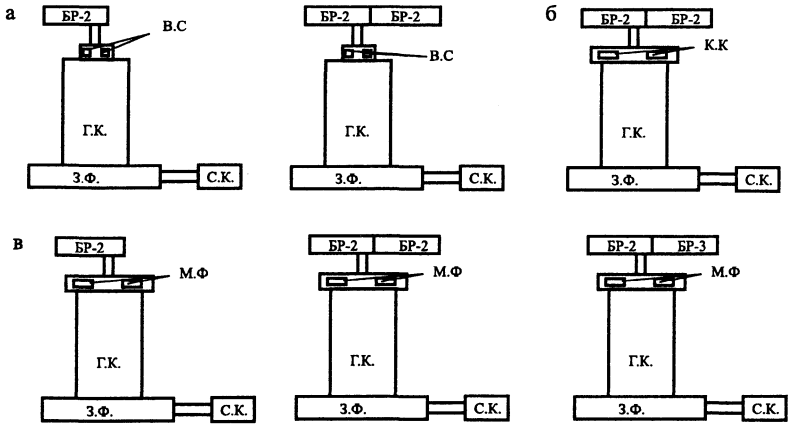


Рис. 12.1. Структура компоновочных решений станций очистки воды по двухступенчатой схеме (станции производительностью 50 – 200 тыс. м^3/сут): а - вариант с вихревыми смесителями; б - вариант с контактными камерами; в - вариант с микрофильтрами; БР-2 - блок реагентного хозяйства на 2 основных реагента; 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

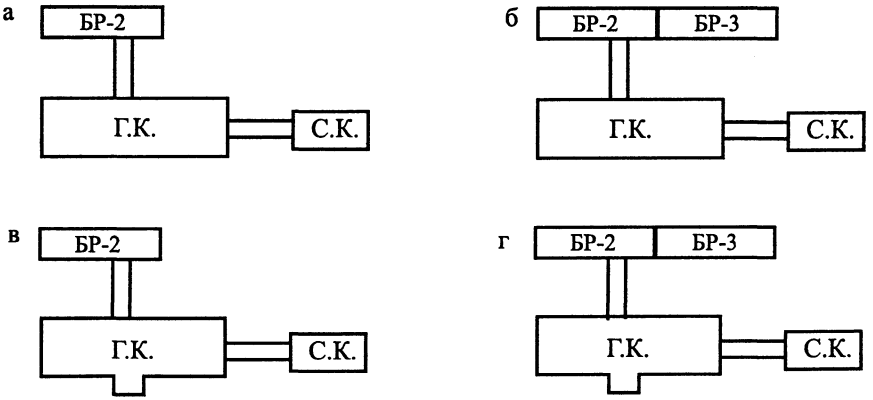


Рис. 12.2. Структура компоновочных решений станций очистки воды по одноступенчатой схеме (станции производительностью 50 - 200 тыс. м^3/сут): а, б - варианты с барабанными сетками; в, г - варианты с микрофильтрами; БР- 2 - блок реагентного хозяйства на 2 основных реагента; ВР- 3 - блок реагентного хозяйства на 3 дополнительных реагента; Г. К. - главный корпус (КО) с входными устройствами; С. К. - служебный корпус

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.

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 рис. 12.3 приводится генеральный план очистной станции производительностью 100 тыс. $м^3$/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 рис. 12.4 приведен генеральный план станции одноступенчатой очистки воды производительностью также 100 тыс. $м^3$/сут. В качестве основного очистного сооружения используется контактный осветлитель (тип КО-1 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 обусловливается 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 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. $м^3$/сут обводные коммуникации допускается не предусматривать. Запорная арматура на обводных коммуникациях должна быть опломбирована.

12.3. Высотные схемы технологических сооружений

Сооружения водоочистного комплекса надлежит располагать по естественному склону местности с учетом потерь напора в сооружениях, соединительных коммуникациях и измерительных устройствах. Поэтому при проектировании схем с самотечным движением воды в очистных сооружениях стремятся наиболее целесообразно использовать рельеф местности в целях уменьшения их строительной стоимости (путем уменьшения заглубления отдельных сооружений, объема земляных работ, снижения стоимости фундаментов и др.). Состав и технологическую схему работы станции обычно представляют в виде высотной схемы в профиле основных сооружений, уточняемую в дальнейшем. Она устанавливает взаимосвязь между уровнями воды и характерными отметками отдельных элементов очистной станции. Высотную схему начинают составлять с наиболее низкорасположенного сооружения - резервуара чистой воды (РЧВ). За начальную отметку принимают отметку поверхности земли площадки станции. Отметку наивысшего уровня воды в РЧВ назначают из экономических и санитарных соображений на 0,4-0,8 м выше планировочной отметки. Затем, приближенно принимая потери напора (по опыту) в отдельных сооружениях станции и соединительных коммуникациях между ними, вычисляют требуемые отметки уровня воды в остальных сооружениях. Для ориентировочных расчетов эти потери можно принимать по табл. 12.1.

Таблица 12.1

Потери напора в сооружениях станции

Сооружения и оборудование	Потери напора, м	Соединительные коммуникации	Потери напора, м
Барабанные сетки и микрофильтры	0,4 - 0,6	От сетчатых барабанных фильтров или входных камер к смесителям	0,2
Входные (контактные) камеры	0,3 - 0,5	От смесителей к отстойникам, осветлителям со взвешенным осадком и контактным осветлителям	0,3 - 0,4
Устройства ввода реагентов	0,1 - 0,3		
Гидравлические смесители	0,5 - 0,6	От отстойников, осветлителей со взвешенным осадком или префильтров к фильтрам	0,5 - 0,6

Продолжение таблицы 12.1

Механические смесители	0,1 - 0,2		
Гидравлические камеры хлопьеобразования	0,4 - 0,5		
Механические камеры хлопьеобразования	0,1 - 0,2	От фильтров или контактных осветлителей к резервуару чистой воды	0,5 - 1,0
Отстойники	0,7 - 0,8		
Осветлители со взвешенным осадком	0,7 - 0,8		
Скорые фильтры	3,0 - 3,5		
Контактные осветлители и префильтры	2,0 - 2,5		
Медленные фильтры	1,5 - 2,0		
Измерительная аппаратура на входе и выходе со станции	по 0,5		
Индикаторы расхода на отстойниках, осветлителях со взвешенным осадком, фильтрах и контактных осветлителях	0,2 - 0,3		

В приведенных значениях учтены потери напора в сборных, подающих и распределительных устройствах сооружений.

Диаметры труб соединительных коммуникаций определяют в зависимости от величины расчетного расхода воды и допускаемых скоростей движения воды, принимаемых по табл. 12.2.

Таблица 12.2

Допускаемые скорости воды в соединительных коммуникациях

Соединительные коммуникации	Допускаемые скорости воды, м/с
От насосов 1-го подъема к смесителю	1,2 -1,5
От смесителя к камере хлопьеобразования или к осветлителю	0,6 - 1,0 0,05 - 0,1
От камеры хлопьеобразования к отстойнику	0,8 - 1,2
От отстойников (осветлителей) к фильтрам	1,0 - 1,5
От фильтров к резервуарам чистой воды	1,5 - 2,0
Подводящие и отводящие промывную воду к фильтрам	> 0,8
Канал для отвода промывной воды после фильтров	

Высотные схемы технологических сооружений водоочистных станций приведены на рис. 12.5 и 12.6.

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 (рис. 12.5) 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.

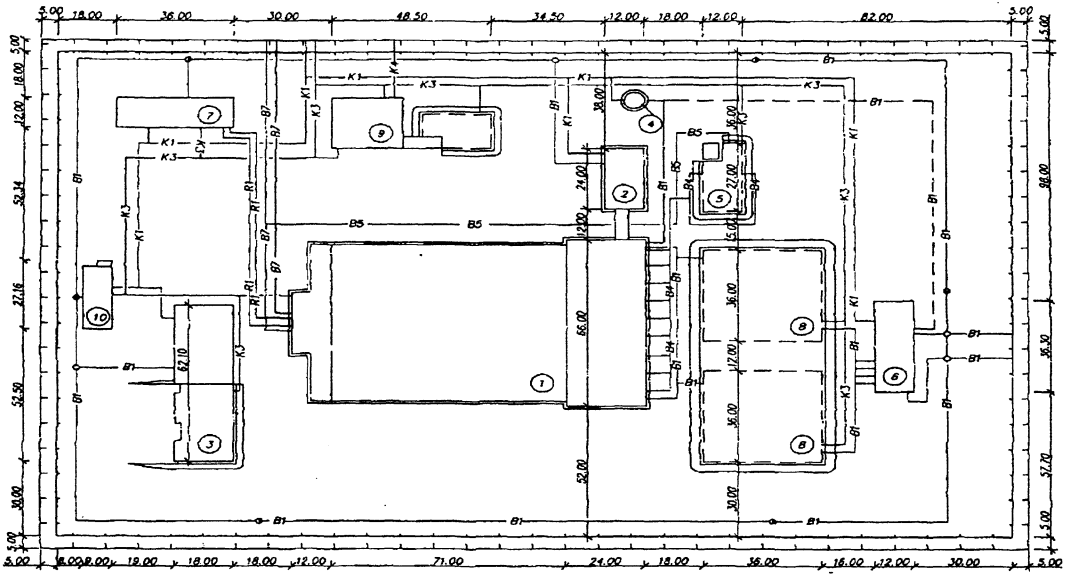


Рис. 12.3. Генеральный план двухступенчатой очистки воды на плоской площадке (производительность 100 тыс. м^3/сут):
1 – блок входных устройств и контактных осветлителей (вариант с вихревыми смесителями); *2* – служебный корпус; *3* – реагентное хозяйство (на 2 реагента); *4* – башня для хранения промывной воды; *5* – сооружения 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 шламовых вод;
—○— – колодец с пожарным гидрантом

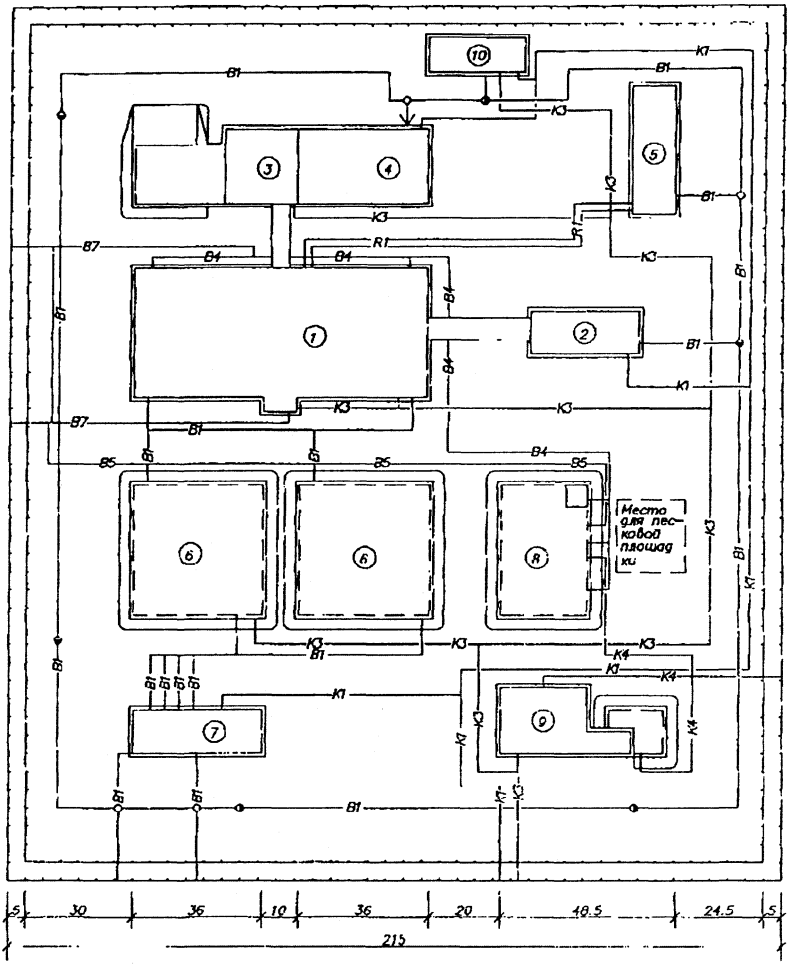


Рис. 12.4. Генеральный план станции очистки воды на плоской площадке (производительность 100 тыс. м^3/сут):

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

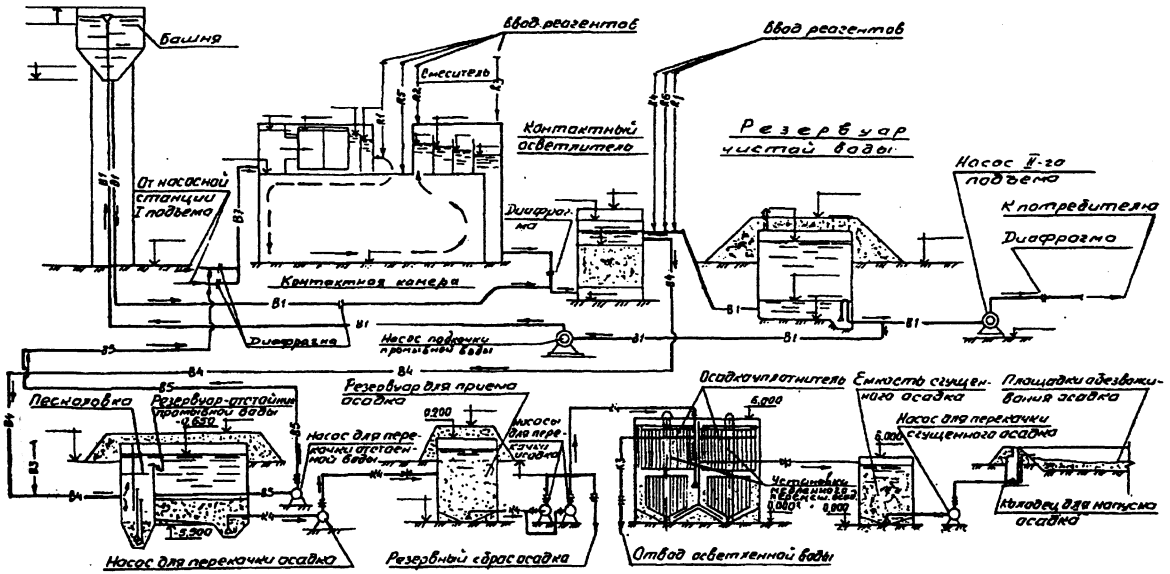


Рис. 12.6. Принципиальная схема обработки исходной воды, промывной воды и осадка станций одноступенчатой очистки: *B1* – трубопровод хозяйственно-питьевой воды; *B7* – трубопровод сырой воды; *B4* – трубопровод производственный – оборотной воды, подающий; *B5* – трубопровод производственный – оборотной воды, обратный; *R1* – трубопровод хлорной воды; *R2* – трубопровод раствора коагулянта; *R3* – трубопровод раствора полиакриламида; *R4* – трубопровод известкового молока; *R5* – трубопровод угольной пульпы; *R6* – трубопровод раствора кремнефтористого натрия; *K3* – трубопровод сточной (производственной) воды; *K4* – трубопровод шламовых вод

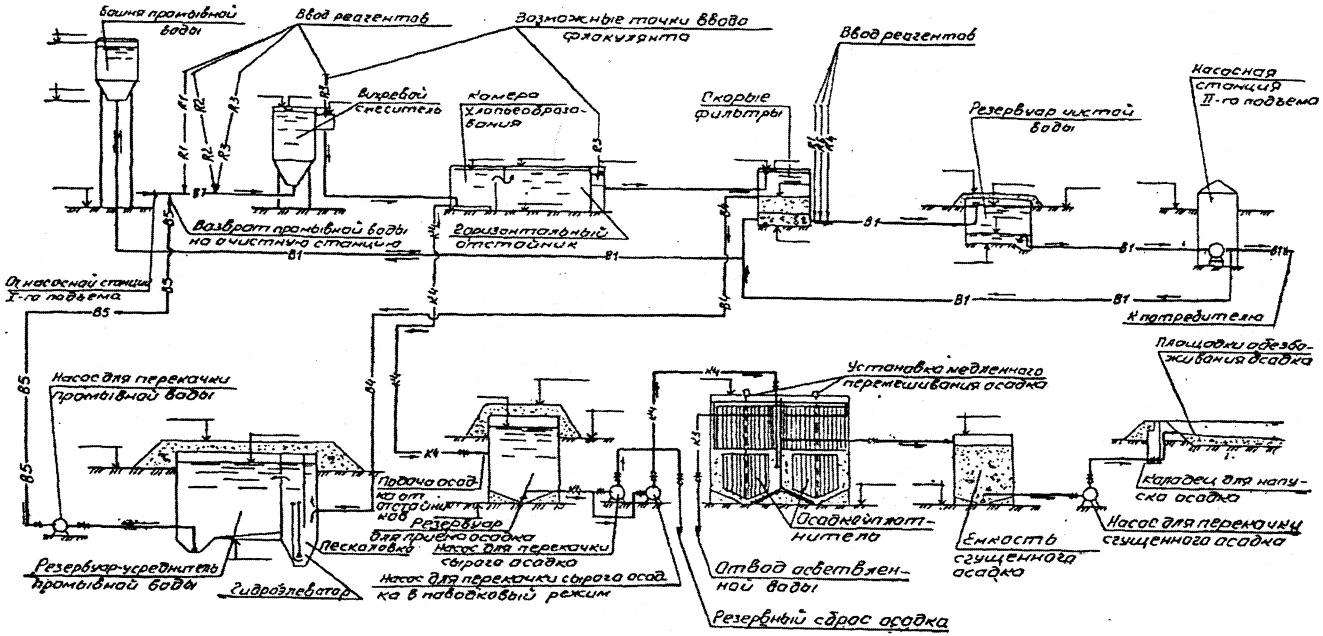


Рис. 12.5. Принципиальная схема обработки исходной воды и осадка двухступенчатой очистки (вариант с вихревым смесителем):

B1 – трубопровод хозяйственно-питьевой воды; *B7* – трубопровод сырой воды; *B4* – трубопровод производственный – 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

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.

На станциях одноступенчатой очистки воды (рис. 12.6) 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 кремнефтористым 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 кремнефтористый 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.

После выполнения гидравлических расчетов сооружений высотная схема и отметки уровней воды во всех сооружениях уточняются.

12.4. Повторное использование промывной воды и обработка осадка

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 (рис.12.5) 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. Габариты радиального отстойника-сгустителя принимают следующие: диаметр – до 18 м, средняя глубина – 3,5 м, уклон дна к грязевому приемнику – 8° , скорость движения конца вращающейся формы – 0,015-0,03 м/с. Продолжительность цикла сгущения принимают 5-10 ч.

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 отстоенной 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 $pH = 2\text{-}3$ 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% [11].

Глава 13. Автоматизация очистных сооружений водопровода

13.1. Значение и объем автоматизации

Проектирование систем водоснабжения в настоящее время осуществляется с внедрением значительного объема автоматизации во все основные сооружения при сокращении штата, а по ряду объектов – и полном снятии дежурного обслуживающего персонала.

Автоматизация очистных сооружений способствует повышению производительности труда и улучшению условий труда, повышению качества очищенной воды и снижению ее стоимости.

Внедрение автоматизации позволяет снизить затраты на текущий ремонт оборудования до 20%, сократить его износ и увеличить срок службы до 30%, резко сократить число аварий и ущерб от них.

Объем автоматизации сооружений следует устанавливать в зависимости от мощности сооружений, условий и наличия средств автоматизации, выпускаемых промышленными предприятиями, местных условий и должен быть обоснован технико-экономическими расчетами. Автоматизации подлежат: оборудование и процессы обработки воды реагентами; фильтровальные залы; насосные установки и насосные станции. На сооружениях очистки воды рекомендуется следующий ее объем: автоматическое управление процессом приготовления растворов реагентов, промывки микрофильтров, фильтров и контактных осветлителей; полуавтоматическое управление процессом выпуска осадка из отстойников и осветлителей; автоматическое управление работой насосных агрегатов; автоматическое управление процессом обеззараживания воды.

В установках для возврата промывной воды рекомендуется автоматическое управление насосами в зависимости от уровня воды в резервуарах и процессом выпуска шлама из резервуаров. Автоматизацию дозирования растворов реагентов следует предусматривать по соотношению расходов обрабатываемой воды и реагента постоянной концентрации с местной или дистанционной коррекцией этого соотношения. Для крупных сооружений при надлежащем обосновании возможно автоматическое дозирование по качественным показателям исходной воды и реагентов. Насосы, перекачивающие растворы реагентов, должны иметь местное управление с автоматическим отключением их по мере заполнения или опорожнения баков.

На фильтрах для осветления воды необходимо предусматривать регулирование скорости фильтрования по расходу в трубопроводе фильтрованной воды или поддерживать постоянный уровень воды. При регулировании по уровню воды в фильтрах должно быть обеспечено равномерное распределение ее между фильтрами.

Промывку фильтров и контактных осветлителей следует автоматизировать при их количестве более 10. Вывод фильтров на промывку следует предусматривать по величине потери напора в загрузке фильтра, по уровню

воды или по заданной длительности цикла (при поступлении исходной воды с малой мутностью).

Промывку барабанных сеток и микрофильтров следует автоматизировать по заданной программе и по величине перепада уровня.

Точность ведения процессов дозирования реагентов, их перемешивание, автоматизация процессов фильтрования воды, управление насосами, технологический контроль качества и расхода фильтрованной воды невозможны без применения систем автоматики, оснащенных современными приборами и средствами.

13.2. Технологический контроль

На станциях очистки воды следует контролировать: общий расход воды (исходной, фильтрованной, промывной); расход растворов реагентов и воздуха; уровни воды в фильтрах, смесителе, дренажном приямке, баках реагентов; уровни осадка в отстойниках и осветлителях; расходы воды и потери напора в фильтрах (при необходимости); величину остаточного хлора или озона; величину pH исходной и обработанной воды; концентрации растворов реагентов (допускается измерение переносными приборами и лабораторным методом); мутность и цветность воды; давление на насосах. Контроль и изменение технологических параметров процесса осуществляется контрольно-измерительными приборами, технические данные на них приводятся в каталогах и инструкциях заводов-изготовителей.

Современная технология подготовки воды на водоочистных станциях требует широкого внедрения автоматизированного контроля за процессами на всех стадиях ее обработки и оптимального регулирования вводимых реагентов совершенной аппаратурой. Это можно успешно решить использованием ЭВМ, которые должны обрабатывать информацию, поступающую от первичных датчиков, и корректировать работу локальных устройств для оптимизации процесса водоподготовки в целом. Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) должны создаваться при проектировании новых, реконструкции или расширении действующих систем водоснабжения, если затраты по созданию АСУ ТП окупаются в срок, не превышающий нормативный (2–3 года).

При проектировании АСУ ТП водоснабжения следует руководствоваться основными требованиями, изложенными в «Инструкции по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения» СП-516.

13.3. Система управления

Системы управления технологическими процессами водоснабжения (АСУ ТП) могут быть двух видов: диспетчерские и автоматизированные.

Структуру диспетчерского управления, как правило, следует предусматривать одноступенчатой, с одним диспетчерским пунктом. Для крупных систем водоснабжения с большим количеством сооружений, распола-

гаемых на разных площадках, или развитых систем с несколькими головными сооружениями, большими узлами и разветвленной сетью допускается двух- или многоступенчатая структура диспетчерского управления с центральным и местными диспетчерскими пунктами. Необходимость такой структуры следует в каждом случае обосновывать технико-экономическими расчетами.

На очистных сооружениях оборудуется местный диспетчерский пункт, на котором устанавливаются приборы контроля за уровнем воды в резервуарах, за работой фильтров, реагентного хозяйства, промывных устройств и т.д. Местный диспетчерский пункт соединяется с диспетчерским пунктом всей системы.

Организация центрального диспетчерского пункта всей системы водоснабжения позволяет лучше использовать оборудование, снизить затраты электроэнергии, повысить надежность системы водоснабжения, сократить количество обслуживающего персонала.

Диспетчерское управление должно сочетаться с частичной или полной автоматизацией контролируемых сооружений. Объемы диспетчерского управления должны быть минимальными, но достаточными для исчерпывающей информации о протекании технологического процесса и состоянии технологического оборудования, а также обеспечения возможности оперативно управлять сооружениями.

Диспетчерские пункты водоснабжения следует размещать в административных блоках, а при условии создания комфортных условий (по уровню шума и т.д.) – в насосных станциях или зданиях фильтров. В диспетчерских пунктах следует предусматривать следующие помещения: диспетчерская для размещения диспетчерского персонала, щита пульта, мнемосхемы, других средств отражения информации и средств связи; аппаратная для размещения телемеханики, электропитания, коммутации линий связи (кросс), каналообразующей и релейной телефонной аппаратуры; комната отдыха персонала; мастерская текущего ремонта аппаратуры; аккумуляторная и зарядная. Для размещения специальных технических средств АСУ ТП дополнительно предусматриваются следующие помещения: машинный зал для ЭВМ; помещение подготовки и хранения данных; помещение для программистов и операторов. В зависимости от состава оборудования, предусмотренного для систем управления, отдельные помещения допускается объединять или исключать.

Диспетчерские пункты и отдельные крупные контролируемые сооружения должны включаться в систему административно-хозяйственной телефонной связи. Как правило, они должны быть радиофицированы и оснащены средствами часофикации. Кроме того, во всех производственных и административных помещениях сооружений водоснабжения предусматривается телефонная связь и радиофикация.

Телемеханизацию диспетчерского управления необходимо сочетать с автоматизацией. Объем телемеханизации для каждого объекта должен быть минимальным.

Глава 14. Техника безопасности и противопожарные мероприятия в проекте водопроводных очистных сооружений

14.1. 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 над полом, или же помостов (площадок) для обслуживания емкостей с водой должна составлять не менее 0,6 м. Проходы и площадки следует оградить на высоту не менее 1 м со сплошной зашивкой внизу на 0,1 м.

Заглубленные помещения должны сообщаться с наземными частями и 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, а также стремянки.

Для помещений длиной (диаметром) более 18 м, 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 [2].

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 рубильник 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 днищем, закрываемый сверху плотными крышками для погружения в него неисправных баллонов с хлором. В хлордозаторной, сблокированной 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 36 В.

При наличии в производственных помещениях постоянного обслуживающего персонала температура воздуха в них должна быть не ниже 16°С, а в помещениях, имеющих большие открытые водные поверхности, она должна быть на 2°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°С.

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 [2]. 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.

Курить 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 грозовых 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.

Литература

1. Соколова Н. В. Метод. указ. к дипломному проектированию по выбору качественного состава источников природных вод / Н. В. Соколова, Е. А. Горбачев; Горьк. инженер.-строит. ин-т. – Горький: ГИСИ им. В. П. Чкалова, 1982. – 36 с.
2. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения/ Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 128 с.
3. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности / Совет эконом. взаимопомощи, ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – 2-е изд., перераб. – М.: Стройиздат, 1982. – 528 с.
4. СНиП 2.04.02-85*. Внутренний водопровод и канализация / Минстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1997. – 60 с.
5. СанПиН 2.1.4.1074-01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: утв. 26.09.01.: Дата введения 01.01.02 / Минздрав России. – М.: 2002. – 104 с.
6. Горбачев Е. А. Проектирование очистных сооружений городского водопровода: Метод. указ. к выполнению курсового и дипломного проектов для студентов специальностей 1209 – «Водоснабжение и канализация» и 1217 – «Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промышленных стоков» Ч.1 / Е. А. Горбачев, Л. А. Васильев; Горьк. инженер.-строит. ин-т. – Горький: ГИСИ им. В.П. Чкалова, 1985. – 40 с.
7. Горбачев Е. А. Расчет и компоновка реагентного хозяйства: Метод. указ. к выполнению курсового и дипломного проектов для студентов, обучающихся по направлению 550100 – «Строительство», специальности 290800 – «Водоснабжение и водоотведение» / Е. А. Горбачев, А. Л. Васильев, Л. А. Васильев; Нижегор. ахитект.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 1999. – 37 с.
8. Васильев А. Л. Расчет смесительных устройств в технологиях водоподготовки: Метод. указ. к выполнению курсового и дипломного проектов для студентов, обучающихся по направлению 550100 – «Строительство», специальности 290800 – «Водоснабжение и водоотведение» / А. Л. Васильев, Л. А. Васильев; Нижегор. ахитект.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2002. – 26 с.
9. Кожинов В. Ф. Очистка питьевой и технической воды / В. Ф. Кожинов. – М.: Стройиздат, 1971. – 303 с.
10. Горбачев Е. А. Обработка природных вод отстаиванием: Метод. указ. к выполнению курсового и дипломного проектов для студентов, обучающихся по направлению 550100 – «Строительство», специальности 290800 – «Водоснабжение и водоотведение» / Е. А. Горбачев, С. П. Романов; Нижегор. ахитект.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 1999. – 41с.
11. Николадзе Г. И. Водоснабжение: Учеб. для вузов / Г. И. Николадзе, М. А. Сомов. – М.: Стройиздат, 1995. – 668 с.:ил.
12. Справочник проектировщика: Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. И. А. Назарова. – М.: Стройиздат, 1977. – 288 с.: ил.
13. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения) / НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Памфилова. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 128 с.
14. Пацюков А. И. Осветлители природных вод: Метод. указ. к выполнению курсового и дипломного проектов для студентов, обучающихся по направлению «Строи-

тельство», специальности 290800 – «Водоснабжение и водоотведение» / А. И. Пацюков, С. П. Романов; Нижегор. ахитект.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2001.– 31 с.
15. Николадзе Г. И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / Г. И. Николадзе, Д. М. Минц, А. А. Кастальский. – М .: Высш. шк., 1984. – 367 с.
16. Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях / Деп. ЖКХ Госстроя России; НИИ коммун. водоснабжения и очистки воды. – М.: 1997. – 112 с.: ил.
17. Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» на водопроводных станциях при очистке природных вод / Госстрой России; НИИ коммун. водоснабжения и очистки воды; ГУП «ВИМИ». – М.: 2000. – 92 с.
18. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф. А. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1984. – 112 с.
19. Клячко В. А. Очистка природных вод / В. А. Клячко, И. Э. Апельцин. – М.: Стройиздат, 1971. – 580 с.
20. Пацюков А. И. Проектирование очистных сооружений городского водопровода. Ч.4. Основные устройства для фильтрования воды: Метод. указ. / А. И. Пацюков, В. Г. Водин; Горьк. инженер.-строит. ин-т. – Горький: ГИСИ им. В. П. Чкалова, 1987. – 44 с.
21. Журба Ж. М. Разработка водоочистных фильтров с пенопластно-волокнистой загрузкой: Автореф. дис. … канд. техн. наук / Ж. М. Журба. – СПб, 1994. – 26 с.
22. Горбачев Е. А. Исследование процесса безотстойного осветления воды на фильтровальных установках с многослойной загрузкой: Автореф. дис. … канд. техн. наук / Е. А. Горбачев. – Горький, 1973. – 27 с.
23. Колодный Ю. И. Очистка природных вод фильтрованием: Учеб. пособие / Ю.И. Колодный, Н. Ф. Санкин, В. Г. Водин, Е. А. Горбачев и др.; Горьк. инженер.-строит. ин-т. – Горький: ГГУ, 1977. – 115 с.
24. Васильев А. Л. Расчет озонаторного оборудования для водопроводных станций: Метод. указ. к вып. курс. и диплом. проектов для студентов, обучающихся по направлению 550100 – «Строительство», специальности 290800 – «Водоснабжение и водоотведение» / А. Л. Васильев, Л. А. Васильев; Нижегор. ахитект.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2001. – 35 с.
25. Лямаев Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки / Б. Ф. Лямаев. – Л.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
26. Т-1604. Компоновочные решения комплексов станций очистки воды поверхностных источников производительностью 1,6–200 тыс. $м^3$/сут. – М.: ЦНИИЭП инженер оборудования городов, жилых и общественных зданий, 1984.
27. Попкович Г. С. Автоматизация и диспетчеризация систем водоснабжения и канализации / Г. С. Попкович. – М.: Стройиздат, 1978. – 1902 с.
28. Горбачев Е. А. Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников – Учеб. Пособие / Е. А. Горбачев; Нижегород. архитект. – строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2003. – 238 с: ил.