NATURAL WATER IMPROVEMENT AND WASTEWATER TREATMENT

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

European Commission
TEMPUS

SWAN

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

Казахский национальный аграрный университет

А.А. АУЛАНБЕРГЕНОВ, О.З. ЗУБАИРОВ, С.Б. АЙДАРОВА, Е.И. КУЛЬДЕЕВ,
А.Т. ТЛЕУКУЛОВ, Ф.Р. ЖАНДАУЛЕТОВА, К.Т. ОСПАНОВ

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Алматы, 2012

УДК 628.3 (075.8)
ББК 38.761.2

ISBN 978-601-228-448-5

Рецензенты:

Мырзахметов М.М. – зав. каф. «Строительные инженерные системы» Казахского национального технического университета им. К.И.Сатпаева, академик НИА РК, проф., д.т.н.;

Омаров Р.А. – Главный ученый секретарь КазНИИ механизации и электрофикации сельского хозяйства, д.т.н., проф.

А.А. Ауланбергенов, О.З. Зубаиров, Е.И. Колдеев, С.Б. Айдарова, А.Т. Тлеукулов, Ф.Р. Жандаулетова, К.Т. Оспанов. Улучшение качества природных вод и очистка сточных вод. – Учебник для вузов. Алматы, 2012. – 188 стр.

В учебнике изложены основные сведения о системах водоснабжения и водоотведения, приведены материалы для ознакомления с назначением, условиями работы, конструкциями, методами расчета и проектирования основных водопроводных и водоотводящих сооружений. Рассмотрены требования к качеству воды хозяйственно-питьевого назначения и воды, идущей на технические цели, характерные особенности систем производственного и сельскохозяйственного водоснабжения, вопросы доочистки сточных вод, позволяющие создать условия действенного предотвращения загрязнения водных источников с одновременным снижением общего расхода исходной воды путем повторного использования очищенных сточных вод в народном хозяйстве.

Отражены достижения науки и техники в области очистки природных и сточных вод, контроля, надежности работы очистных сооружений и использования очищенных сточных вод в промышленности и сельском хозяйстве.

Книга предназначена для магистрантов и бакалавров, обучающихся по специальности 6М080500 «Водные ресурсы и водопользование».

УДК 628.3 (075.8)
ББК 38.761.2

© А. Ауланбергенов, О. Зубаиров,
С. Айдарова, Е. Кульдеев, А. Тлеукулов,
Ф. Жандаулетова, К. Оспанов

ISBN 978-601-228-448-5

Дизайн, верстка и подготовка к печати:
Издательская компания «RUAN»

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева

Казахский национальный аграрный университет

А.А. АУЛАНБЕРГЕНОВ, О.З. ЗУБАИРОВ, С.Б. АЙДАРОВА, Е.И. КУЛЬДЕЕВ,
А.Т. ТЛЕУКУЛОВ, Ф.Р. ЖАНДАУЛЕТОВА, К.Т. ОСПАНОВ

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ *8*
ВВЕДЕНИЕ *10*

ГЛАВА 1. ОЧИСТКА И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ **12**
1.1. Основные источники загрязнения вод 12
1.2. Свойства воды и требования, предъявляемые к ее качеству 15
1.3. Методы очистки воды 17
1.4. Коагулирование и отстаивание воды 18
1.5. Фильтрование воды 25
1.6. Обеззараживание воды 28
1.7. Специальная обработка воды 30

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД **36**
2.1. Общие положения 36

ГЛАВА 3. СОСТАВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД **44**
3.1. Сточные воды и их характеристика 44
3.2. Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод 50
3.3. Основные положения правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами 54
3.4. Расчеты выпусков и степени очистки сточных вод 65
3.4.1. Определение степени очистки сточных вод от взвешенных веществ 67
3.4.2. Расчет степень очистки сточных вод по БПК смеси речной воды и сточных вод 68
3.4.3. Расчет степени очитки сточных вод по изменению pH 70

3.4.4. Температурный расчет сточных вод перед сбросом в водоем 70
3.4.5. Расчет степени очистки сточных вод от вредных веществ 71
3.4.6. Условия спуска сточных вод в водоемы 71
3.5. Методы очистки сточных вод и состав очистных сооружений 73
3.5.1 Методы очистки сточных вод 73
3.5.2 Технологические схемы очистки сточных вод 77

ГЛАВА 4. СООРУЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 83
4.1. Решетки 83
4.2. Песколовки 85
4.3. Отстойники 88
4.4. Усреднители 93

ГЛАВА 5. СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 95
5.1. Биологические фильтры 95
5.2. Аэротенки 99
5.3. Сооружения для предварительной аэрации и биокоагуляции 102
5.4. Вторичные отстойники и илоуплотнители 104

ГЛАВА 6. СООРУЖЕНИЯ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 105
6.1. Очистка сточных вод флотацией 105
6.2 Очистка сточных вод коагулированием 107
6.4. Адсорбционная очистка сточных вод 112

ГЛАВА 7. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКА 117

7.1. Септики, двухъярусные отстойники и осветлители-перегниватели 117

7.2. Метантенки 119

7.3. Иловые площадки 122

7.4. Сооружения для механического обезвоживания осадка, его термической сушки и сжигания 123

ГЛАВА 8. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД И ВЫПУСК В ВОДОЕМ 130

8.1. Обеззараживание сточных вод 130

8.2. Обеззараживание воды хлорированием 131

8.3. Обеззараживание озонированием 136

8.4. Обеззараживание ультрафиолетовым облучением 138

ГЛАВА 9. МЕТОДЫ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 140

9.1. Удаление из воды биогенных элементов 140

9.2. Выпуски очищенных сточных вод в водоем 146

ГЛАВА 10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД 147

10.1. Виды сточных вод, используемых для орошения 147

10.2. Использование теплых вод для сельского хозяйства 154

10.3. Использование теплых вод для рыбоводства 156

ГЛАВА 11. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ 158

11.1. Общая оценка последствий гидротехнического строительства 158

11.2. Влияние водохранилищ на природные условия 160

11.3. Русловые процессы 161

11.4. Гидрологический режим 162

11.5. Влияние орошения на природные условия 166

ГЛАВА 12. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ **168**

12.1. Оценка водоохранных мероприятий 168

12.2. Сравнительная экономическая эффективность вариантов водоохранных мероприятий 170

12.3. Денежная оценка использования и охраны водных ресурсов 172

ГЛОССАРИЙ *176*

ПРИЛОЖЕНИЯ *180*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ *183*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Охрана окружающей среды от загрязнения является актуальной проблемой современности, которой в нашей стране уделяется исключительно большое внимание. Основные направления решения этой глобальной проблемы определены рядом постановлений правительства в частности, постановлением «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов»

Учебник написан в соответствии с планом Международного проекта 158982 – TEMPUS-ES-TEMPUS JPCR «Управление водными ресурсами стран Центральной Азии». Партнеры проекта – университет Аликанте (Испания), университет Генуя (Италия), Словацкий технологический университет в Братиславе, Варшавский университет естественных наук (Польша), Кыргыский национальный университет (Киргизия), Таджикский технический университет (Таджикистан), Ташкентский институт ирригации и мелиораци (Узбекистан), Казахский национальный аграрный университет (Казахстан).

«Улучшение качества природных вод и очистка сточных вод» является одной из основных дисциплин цикла специальных дисциплин учебного плана подготовки магистрантов по специальности «Водные ресурсы и водопользование».

В процессе изучения этой дисциплины будущие магистранты готовятся решать задачи водоснабжения и отведения образующихся сточных вод за пределы городов и промышленных предприятий, очистки, обезвреживания, повторного использования и выпуска их в водоемы, а также обработки и утилизации образующихся при этом осадков.

Применительно к охране водных источников выдвигается требование о рациональном использовании воды. При этом первостепенное значение приобретает внедрение в промышленность систем использования воды по замкнутому циклу, создание «бессточных» промышленных комплексов, многократное использование воды, повышение степени удаления загрязнений из сточных вод, сбрасываемых в водоемы.

Поэтому современное развитие научных исследований и техники очистки природных и сточных вод идет в основном в двух направлениях: 1) разра-

ботка принципиально новых приемов глубокой очистки с использованием физико-химических методов и сочетания их с биологической очисткой; 2) разработка приемов так называемой доочистки сточных вод, обеспечивающих повышение эффективности существующих методов удаления загрязнений.

Настоящая книга посвящена рассмотрению современного состояния развития методов очистки сточных вод. Новизна проблемы, разная степень изученности и практического применения отдельных методов доочистки сказались на полноте изложения этих вопросов. Значительное место в книге отведено наиболее распространенным методам доочистки и обработке осадков.

Изучение дисциплины «Улучшение качества природных вод и очистка сточных вод» может быть обеспечено после изучения следующих дисциплин: гидравлика, материаловедение, технология конструкционных материалов, электротехника и электроника, безопасность жизнедеятельности, механика грунтов, инженерная геодезия, инженерная геология, автоматизация, строительные конструкции, технология и механизация строительного производства, химия воды и микробиология, гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения.

При написании учебника использованы последние научные исследования; опыт проектирования, строительства и эксплуатации специализированных организаций как в Казахстане, так и за рубежом.

Любые критические замечания, пожелания и советы будут приниматься с благодарностью и их просим направлять по адресу: г.Алматы, пр. Абая, 2, «Издательство КазНАУ» (комн. 105).

ВВЕДЕНИЕ

Во все времена поселения людей и размещение промышленных объектов реализовались в непосредственной близости от пресных водоемов, используемых для питьевых, гигиенических, сельскохозяйственных и производственных целей. В процессе использования воды человеком она изменяла свои природные свойства и в ряде случаев становилась опасной в санитарном отношении. Впоследствии с развитием инженерного оборудования городов и промышленных объектов возникла необходимость в устройстве организованных способов отведения загрязненных отработавших потоков воды по специальным гидротехническим сооружениям.

Развитие производительных сил в качестве одной из важных проблем выдвигает защиту окружающей среды и, в частности водных источников, от загрязнений. В число основных задач по защите водного бассейна входят как рациональное использование водных ресурсов, так и очистка стоков до уровня требований к их сбросу в водные объекты.

В настоящее время значение пресной воды как природного сырья постоянно возрастает. При использовании в быту и промышленности вода загрязняется веществами минерального и органического происхождения. Такую воду принято называть сточной водой.

В зависимости от происхождения сточных вод они могут содержать токсичные вещества и возбудители различных инфекционных заболеваний. Водохозяйственные системы городов и промышленных предприятий оснащены современными комплексами самотечных и напорных трубопроводов и других специальных сооружений, реализующих отведение, очистку, обезвреживание и использование воды и образующихся осадков. Такие комплексы называются водоотводящей системой. Водоотводящие системы потоков воды по специальным гидротехническим сооружениям.

Строительство водоотводящих систем обусловливалось необходимостью обеспечения нормальных жилищно-бытовых условий населения городов и населенных мест и поддержания хорошего состояния окружающей природной среды.

Важность и объем мероприятий по защите окружающей среды возрастает с каждым годом. Одним из таких мероприятий является очистка сточных вод. Теперь уже нет необходимости объяснять, что потребление воды непрерывно растет и соответственно растет количество образующихся в результате этого сточных вод.

Поэтому, одной из самых актуальных проблем на современном этапе развития научно-технического прогресса является проблема охраны природы от загрязнения сточными водами.

Загрязнение окружающей среды отрицательно отражается на со-стоянии водоёмов, повышение концентрации загрязнении в которых может привести к развитию в них необратимых процессов, способст-вующих их прогрессирующему истощению. Поэтому очистка сточных вод, удовлетворяющая требованиям защиты водоёмов от загрязнения, приобретает первостепенное значение, как элемент контролируемого и управляемого воздействия человека на природу, рассчитанного на длительный период. Важное значение имеет охрана, комплексное ис-пользование и воспроизводство водных ресурсов, предусматривающие защиту их от загрязнения и истощения, глубокая очистка загрязнённых сточных вод на очистных станциях с последующим их использованием в техническом водоснабжении, а также всемерное сокращение и даже прекращение сброса промышленных сточных вод в реки.

Защита окружающей среды, радикальное использование водных ресурсов имеет особенно важное значение для Казахстана, который среди стран СНГ является самой малообеспеченной водными ресурсами страной.

Надлежащая очистка сточных вод предполагает их повторное использование до отвода в водоемы или в почву. Очистка сточных вод преследует также и другие цели, например, содержание в чистоте водоемов, являющихся местами отдыха, сохранение рыбных богатств. При этом строительство одних лишь крупных очистных сооружений не решает существующих проблем. Следует расширить сеть сооружений малой канализации, которым до сих пор не уделялось должного внимания.

Потребность в строительстве малых очистных сооружений возрастает в связи с претворением в жизнь широкой программы жилищного строительства, строительством индивидуальных домов, дач, а также объектов здравоохранения и образования.

Особое значение имеет развитие современной системы водоотведения бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающих высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнений.

Наиболее существенные результаты получены при разработке новых технологических решений в вопросах эффективного использования воды систем водоотведения и очистки производственных сточных вод.

Предпосылками для успешного решения этих задач при строительстве водоотводящих систем являются разработки, выполняемые высококвалифицированными специалистами, использующими новейшие достижения науки и техники в области строительства и реконструкции водоотводящих сетей и очистных сооружений.

Глава 1. ОЧИСТКА И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ

1.1. Основные источники загрязнения вод

Качество вод обусловлено как природными, так и антропогенными факторами. Наибольшее влияние на качество воды оказывает антропогенная деятельность, проявляющаяся в интенсивном развитии промышленности, энергетики, сельского хозяйства, транспорта и коммунального хозяйства. При этом основными источниками загрязнения являются: промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды, диффузные источники загрязнения (минеральные удобрения, ядохимикаты, дымовые выбросы и др.).

Развитие производительных сил в качестве одной из важных проблем выдвигает защиту окружающей среды и, в частности водных источников, от загрязнений. В число основных задач по защите водного бассейна входят как рациональное использование водных ресурсов, так и очистка стоков до уровня требований к их сбросу в водные объекты.

Большой вред водоемам причиняют промышленные стоки, содержащие токсические вещества, действующие пагубно на водные экосистемы. Наибольшее количество загрязнений при отсутствии требуемой степени очистки поступает, нефтеперерабатывающей, химической, целлюлозно-бумажной, металлургической, текстильной и других отраслей промышленности. Объем и состав промышленных стоков зависит от производственной мощности каждого предприятия и принятой на нем технологии.

В условиях дельнейшей интенсификации сельскохозяйственного производства все большое значение уделяется внесению удобрений и использованию различных пестицидов. Однако при внесении удобрений и особенно при использовании ядохимикатов не всегда учитывается отрицательное влияние их на качество воды в водоемах и водотоках.

Значительный ущерб могут причинять тепловые и атомные электростанции, сбрасывающие тепловые воды в природные и искусственные водо-

емы, нарушая термический, гидрохимический и гидрологический режимы.

Немаловажное значение в ухудшении качества природных вод имеют загрязнения, поступающие из атмосферы. В отдельных случаях они составляют до 15-20% общей нагрузки водоема загрязнениями.

К числу загрязнителей природных вод следует также отнести водный транспорт, лесосплав и соответствующие ему работы, отвалы горных разработок и др.

На качество воды в значительной степени оказывают влияние и водохозяйственные мероприятия, в том числе различные мелиоративные работы. Особенно на гидрохимический и гидробиологический режимы водотоков и водоемов создание водохранилищ.

К коммунальным сточным водам относятся, прежде всего, фекальные стоки как организованные и сосредоточенные, так и неорганизованные и рассредоточенные (в местах отсутствия канализационных систем). Кроме того, существенную роль играют ливневые стоки, концентрация загрязнений в которых особенно в начальный период, может достигать весьма больших величин.

Загрязняющие вещества могут быть разделены:

- минеральные
- органические
- бактериальные

Минеральные загрязнения: песок, глина, растворы и эмульсии солей, кислот, щелочей, минеральных масел и другие вещества.

Органические загрязнения могут быть растительного и животного происхождения. Различают легкоокисляемые соединения, например, хозяйственно-бытовые, пищевые и другие сточные воды и тяжелоокисляемые растворы, как правило, продукты химической промышленности.

Бактериальные загрязнения: различные микроорганизмы в виде дрожжевых и плесневых грибков и бактерий, в том числе болезнетворных. Последние имеют исключительно животное происхождение.

Из всех видов загрязнений наиболее распространены нефтепродукты и фенольные соединения, которые оказывают отрицательное воздействие на воду и живые водные организмы даже в малых концентрациях.

Загрязнение водоемов поверхностно-активными моющими веществами (СПАВ) приводит к образованию стойкой пены и существенному ухудшению санитарных показателей.

Наибольшую опасность для природных вод и живых организмов представляют радиоактивные отходы. Поэтому их сброс в водоемы недопустим.

Все вредные вещества влияют на органолептические, общесанитарные, токсические и рыбохозяйственное качества воды, изменяя ее физические свойства (прозрачность, окраска, запах и пр.) и химический состав. При этом появляются плавающие образования и отложения, новые бактерии, вирусы, грибки. В результате качество воды рек и водоемов может оказаться непригодным для водопотребления и водопользования.

Методы оценки качества воды водных объектов

Качество воды водных объектов оценивается по физико-химическим, биологическим и микробиологическим показателям, анализ которых позволяет установить соответствие или несоответствие рассматриваемого водотока, водоема требованиям, предъявляемым водопотребителями водопользователями, согласно действующим законодательным актам. Критерием оценки допустимости загрузки водных источников веществами загрязнения являются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в водных объектах, а также их общесанитарная характеристика. Требования, предъявляемые к качеству воды рек, озер, морей, разработаны в виде ПДК для источников водоснабжения, водоемов, расположенных в пределах населенных пунктов в зоне отдыха, а также для водных объектов рыбохозяйственного значения. Утверждены санитарные правила впуска сточных вод в водные объекты отдельно для рек и внутренних водоемов и для морского побережья (1975 г.). В этих документах даны ПДК для большого количества вредных веществ (более 500), а также расчетные гидрологические условия оценки качества воды.

Согласно действующим в Казахстане правилам допускаемые сбросы вещества загрязненные (сточных вод и пр.) определены для каждого производства, города или поселка исходя из ПДК вредных веществ в зоне водопользования – водопотребления.

В большинстве зарубежных стран сбросы сточных вод нормируются, причем допустимую нагрузку на водные объекты устанавливают законодательные органы.

Каждая из указанных систем имеет свои положительные и отрицательные стороны. Поэтому в настоящее время ведутся исследования по разработке комбинированной системы ограничения сбросов.

Методика построения комплексной оценки качества поверхностных вод характеризуется с помощью индекса качества (ИКВ), I пр, характеризующий его по совокупности основных показателей в зависимости от видов водопользования на основании существующих нормативов «Правил охра-

ны поверхностных вод», разработаны также способы построения составляющих индексов:

- общесанитарные – Ioc
- специфических загрязнений Iз

1.2. Свойства воды и требования, предъявляемые к ее качеству

Качество воды характеризуется ее физическими, химическими и бактериологическими свойствами.

К **физическим свойствам** воды относятся ее температура, цветность, мутность, привкус и запах.

Температура воды поверхностных источников зависит от температуры воздуха, скорости движения воды и ряда других факторов. Она может изменяться в значительных пределах. Температура воды подземных источников относительно постоянна (обычно 6-8°С).

Под *цветностью* воды понимают ее окраску. Цветность выражают в градусах цветности по платиново-кобальтовой шкале. Один градус этой шкалы соответствует цвету 1 л воды, окрашенной 1мг порошка платины.

Мутность определяется содержанием в воде взвешенных частиц и выражается в миллиграммах на литр (мг/л). Йода подземных источников имеет малую мутность. Мутность воды поверхностных источников зависит от их вида (разные реки несут воды различной мутности) и от времени года. Особенно велика мутность воды в период паводков.

Вода источников может иметь различные *привкус и запах*.

Химические свойства воды характеризуются следующими показателями: активной реакцией, жесткостью, окисляемостью, содержанием растворенных солей.

Активная реакция воды определяется концентрацией водородных ионов. Обычно она выражается через pH. При pH = 7 среда нейтральная; при pH < 7 среда кислая, а при pH > 7 среда щелочная.

Жесткость воды определяется содержанием в ней солей кальция и магния. Она выражается в миллиграмм-эквивалентах на литр (мг-экв/л). Различают жесткость карбонатную, некарбонатную и общую (их сумма). *Карбонатная*, или *временная, жесткость* характеризует содержание в воде бикарбонатных и карбонатных солей кальция, а *некарбонатная*, или *постоянная, жесткость* – содержание в воде некарбонатных солей кальция и магия. Вода подземных источников имеет большую жесткость, а вода повер-

хностных источников – относительно невысокую (3-6 мг-экв/л). Особенно велика жесткость морской воды.

Окисляемость обусловливается содержанием в воде растворенных органических веществ и может служить показателем загрязненности источника сточными водами.

Содержание в воде растворенных солей (в мг/л) характеризуется плотным остатком. Вода поверхностных источников имеет меньший плотный остаток, чем вода подземных источников, т.е. содержит меньше растворенных солей.

Степень бактериологической загрязненности воды определяется числом бактерий, содержащихся в 1 $см^3$ воды. Вода поверхностных источников содержит бактерии, внесенные сточными и дождевыми водами, животными и т.д. Вода подземных источников обычно не загрязнена бактериями.

Различают *патогенные* (болезнетворные) и *сапрофитные* бактерии. Для оценки степени загрязненности воды патогенными бактериями определяют содержание в ней кишечной палочки. Бактериальное загрязнение воды измеряют коли-титром и коли-индексом. *Коли-тшпр* – объем воды в кубических сантиметрах, в котором содержится одна кишечная палочка. *Коли-индекс* – число кишечных палочек, содержащихся в 1 л воды.

Требования, предъявляемые к качеству питьевой воды, определяются СаНП и Н РК 3.01.067-97. Эти требования разделены на две группы.

Требования первой группы обязательны для всех хозяйственно-питьевых систем централизованного водоснабжения. К этим требованиям относятся следующие: запах и привкус не более 2 баллов; цветность не более 20°; прозрачность по шрифту не менее 30 см; общая жесткость воды не более 10 мг-экв/л.

Требования второй группы должны соблюдаться при наличии в системе водоснабжения очистных сооружений. Эти требования за-ключаются в следующем: мутность осветленной воды не более 2 мг/л; содержание железа не более 0,3 мг/л; активная реакция (pH) при осветлении и умягчении воды не менее 6,5 и не более 9,5; содержание остаточного **активного** хлора не менее 0,3 и не более 0,5 мг/л.

Требования, предъявляемые к качеству производственной воды, зависят от характера производства. На ряде промышленных предприятий значительный процент производственной воды расходуется на охлаждение оборудования и продукции. Так, водой охлаждаются доменные и мартеновские печи, компрессоры, турбины и т.п. В охлаждающей воде не долж-

но содержаться много взвешенных частиц. Она должна иметь невысокую карбонатную жесткость (не более 4-5 мг-экв/л). Во избежание зарастания трубопроводов из-за выпадения солей временной жесткости охлаждающая вода не должна нагреваться выше 30-50°С. Зарастание трубопроводов могут вызвать и микроорганизмы при значительном их содержании в охлаждающей воде. Вода, предназначенная для питания котлов, должна иметь минимальную жесткость. Для снижения жесткости воду подвергают умягчению.

1.3. Методы очистки воды

Метод очистки воды и состав очистных сооружений зависят от качества воды в источнике водоснабжения, назначения водопровода, производительности станции и местных условий. К наиболее распространенным методам очистки воды относятся осветление и обеззараживание.

Осветление может осуществляться отстаиванием воды в отстойниках, пропуском ее через взвешенный слой осадка в осветлителях и фильтрованием через зернистую загрузку в фильтрах. Для улучшения процесса отстаивания применяют коагулирование, т.е. вводят в воду химические реагенты (коагулянты), которые, взаимодействуя с мельчайшими коллоидными частицами, находящимися в воде, образуют агрегаты слипшихся частиц в виде хлопьев, быстро выпадающих в осадок.

Приготовление и дозирование реагента осуществляют на установках, входящих в состав так называемого реагентного хозяйства. Раствор коагулянта тщательно перемешивается с обрабатываемой водой в смесителе.

Из смесителя вода направляется в камеру хлопьеобразования, а затем поступает в отстойник, где происходит ее осветление, т.е. выпадение хлопьев с адсорбированными на них взвешенными частицами. Если применяются осветлители со взвешенным осадком, то камера хлопьеобразования не устраивается.

Обеззараживание воды осуществляют с целью уничтожения бак-терий, главным образом патогенных. Наиболее распространенными способами обеззараживания являются хлорирование, озонирование и бактерицидное облучение.

Иногда применяется **специальная обработка воды**. Так, подземные воды, которые содержат много железа и марганца, подвергаются обезжелезиванию и удалению марганца. Питательная вода котельных установок и ТЭЦ требует предварительного умягчения. Вода некоторых источников водоснабжения должна быть до подачи ее потребителям обессолена, т.е. из воды должны быть удалены растворенные в ней соли. Иногда из воды

в процессе ее очистки необходимо удалять растворенные газы, т.е. проводить ее дегазацию.

Для предотвращения коррозии трубопроводов и аппаратуры, а также выпадения в трубах солей осуществляют стабилизацию воды путем добавления в нее химических реагентов.

Таким образом, очистная станция представляет собой комплекс сооружений, в которых вода подвергается очистке, приобретая качества и свойства, необходимые потребителю. Очистные сооружения, как правило, располагают так, чтобы вода могла передаваться из одного сооружения в другое самотеком.

1.4. Коагулирование и отстаивание воды

Для укрупнения мелкодисперсных и коллоидных частиц с целью увеличения скорости их осаждения и способности задерживаться пористыми фильтрующими материалами применяют коагулирование.

Коллоидные частицы, обладая электрическим зарядом, взаимно отталкиваются, что препятствует их укрупнению. Для устранения этого препятствия в обрабатываемую воду, содержащую обычно отрицательно заряженные коллоидные частицы, вводят коагулянты, образующие положительно заряженные коллоиды. Взаимодействие тех и других коллоидных частиц приводит к нейтрализации их зарядов и образованию более крупных частиц в виде хлопьев. В качестве коагулянтов чаще всего применяют сернокислый алюминий (сернокислый глинозем), сернокислое железо закисное (железный купорос), сернокислое железо окисное, хлорное железо.

В результате гидролиза этих солей образуются гидраты окисей алюминия или железа, представляющие собой обычно положительно заряженные коллоиды. Образующиеся при гидролизе водородные ионы связываются присутствующими в воде бикарбонатными ионами. Если содержащихся в воде бикарбонатных ионов недостаточно, то для связывания выделяющихся при коагуляции ионов водорода к воде добавляют известь, соду или едкий натр. Доза коагулянта зависит от мутности и цветности воды и для природных вод обычно составляет примерно 20-50 мг/л.

Реагентное хозяйство. Наибольшее распространение имеет мокрый способ дозирования реагентов. При этом способе комья коагулянта загружают в растворный бак *1* с водой (рис. 1.1), откуда после растворения коагулянт поступает в расходные баки *2*, в которых приготовляется раствор определенной концентрации. Этот раствор направляется в дозировочный бачок *3*, а из него подается в обрабатываемую воду. Обычно устанавливают два растворных бака, работающих попеременно.

Для ускорения процесса растворения коагулянта в растворный бак подают сжатый воздух пли пар или же применяют механические мешалки.

Для ускорения процесса коагуляции в воду вводят флокулянты – полиакриламид или активную кремнекислоту.

Смесители. Для равномерного перемешивания коагулянта со всей массой воды служат смесители. Наибольшее распространение получили перегородчатые, дырчатые и вихревые смесители.

Перегородчатый смеситель – это лоток с тремя вертикальными поперечными перегородками, имеющими попеременно центральные и боковые проходы. Перемешивание коагулянта с водой происходит в результате интенсивных завихрений потока.

В дырчатом смесителе перемешивание осуществляется под воздействием завихрений, образующихся при проходе воды через отверстия в поперечных перегородках.

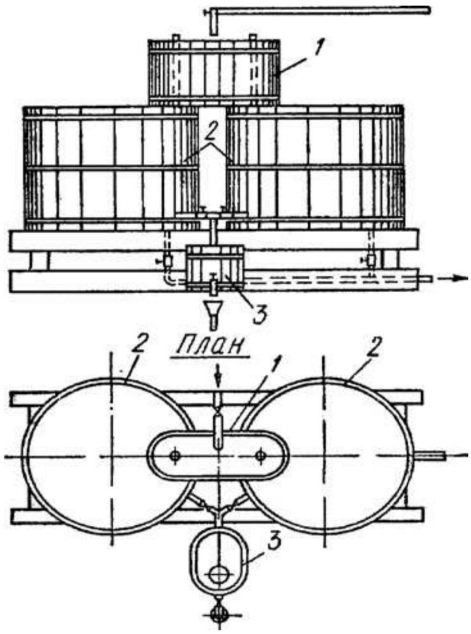


Рисунок 1.1. Устройство для приготовления раствора реагентов

В вертикальном (вихревом) смесителе перемешивание осуществляется вследствие турбулизации вертикального потока. Смеситель может быть квадратного или круглого сечения в плане с пирамидальной или конической нижней частью

Допускается смешивать реагенты с водой в трубопроводах и насосах, подающих воду на очистные сооружения.

Камеры хлопьеобразования. В этих камерах происходит образование хлопьев в процессе плавного перемешивания обрабатываемой воды с раствором коагулянта. Вода в камере в течение 10-40 мин постепенно перемещается от места впуска до выпуска. Скорость движения воды в камере должна быть такой, чтобы хлопья в ней не выпадали и не разбивались. Камеры хлопьеобразования бывают перегородчатые, лопастные, вихревые и др.

Перегородчатая камера (рис. 1.2) представляет собой железобетонный резервуар, разделенный продольными перегородками на коридоры. Вода проходит по этим коридорам со скоростью 0,2-0,3 м/с. Число рабочих коридоров может меняться в зависимости от мутности воды.

Риснок 1.2. Перегородчатая камера хлопьеобразования

Лопастные камеры хлопьеобразования могут быть с вертикальным и горизонтальным расположением вала мешалок. В одной камере располагаются две или несколько мешалок. Каждая мешалка имеет от двух до шести лопастей. Вода в камерах находится в течение 20–30 мин, двигаясь со скоростью 0,2-0,5 м/с.

Вихревая камера хлопьеобразования представляет собой расширяющийся кверху конический или пирамидальный резервуар, в который вода поступает снизу. В результате движения воды с уменьшающейся скоростью боковые слои воды подсасываются в основной поток, что способствует хорошему ее перемешиванию.

Отстойники. Процесс отстаивания основан на том, что при малых скоростях движения воды взвешенные в ней частицы под действием силы тяжести осаждаются на дно. Скорость осаждения частиц зависит от их размеров, формы, удельного веса и температуры воды.

Источники водоснабжения характеризуются различным содер-жанием в воде взвешенных частиц, т.е. имеют разную мутность. В спязи с этим продолжительность отстаивания воды будет различной.

Осветляемая вода может двигаться в отстойнике в горизонтальном, вертикальном или радиальном направлении. В зависимости от направления потока различают отстойники горизонтальные, вертикальные и радиальные.

Горизонтальные отстойники применяют на очистных станциях производительностью более 30 000 м^3/сут.

В горизонтальном отстойнике (рис. 1.3), представляющем собой прямоугольный резервуар, вода поступает с торца и движется вдоль длинной стороны резервуара.

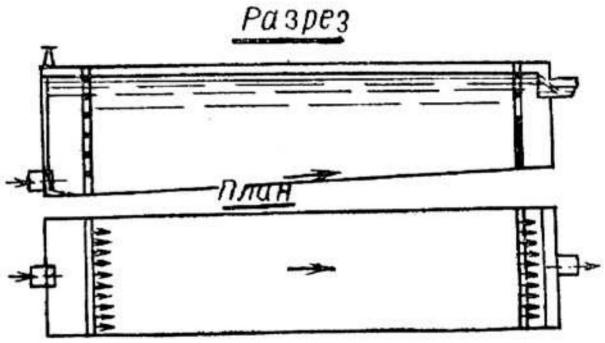


Рисунок 1.3. Горизонтальный отстойник

Относительно равномерное движение воды по всему поперечному сечению отстойника достигается устройством дырчатых перегородок, водосливов, распределительных и сборных желобов.

Для равномерного отвода воды из отстойника на расстоянии 1–2 м перед задней торцовой стенкой устанавливают дырчатую перегородку. Нижнюю часть перегородки на 0,3–0,5 м выше зоны накопления и уплотнения осадка делают сплошной (без отверстий).

Глубина зоны осаждения принимается равной 2,5–3,5 м, а ширина секции отстойника – не более 6 м.

Днище горизонтальных отстойников имеет уклон к приямку для осадка, расположенному в начале отстойника. Осадок, накапливающийся в от-

стойнике, периодически удаляют механизированным или гидравлическим способом.

При горизонтальных отстойниках следует предусматривать камеры хлопьеобразования перегородчатого или вертикального типа со слоем взвешенного осадка или без него.

В последние годы находят распространение горизонтальные отстойники с рассредоточенным по площади сбором воды через затопленные отверстия.

Вертикальные отстойники, устраиваемые на малых очистных станциях производительностью до 3000 м^3/сут, представляют собой круглый или квадратный в плане резервуар с коническим или пирамидальным днищем с углом наклона стенок 50–70°. Вода поступает по трубопроводу в центральную трубу, опускается в нижнюю часть отстойника, затем поднимается в его рабочей части и переливается через водослив в круговой лоток. Иногда вместо центральной трубы устраивают камеру хлопьеобразования водоворотного типа (рис. 1.4). В эту камеру вода поступает через сопла, из которых она выходит по касательной, создавая вращательное движение в камере. В нижней части камеры устанавливают решетки из щитов для гашения вращательного движения воды.

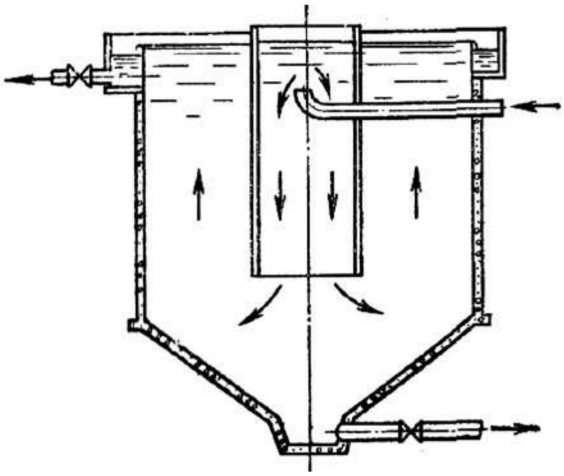


Рисунок 1.4
Вертикальный отстойник

Осветление происходит при условии, что скорость восходящего потока воды меньше скорости осаждения взвешенных частиц. Тогда эти частицы выпадают на дно. Осадок периодически удаляется самотеком по иловой трубе без прекращения работы отстойника.

Скорость восходящего потока воды ν принимают в пределах 0,5-0,75 мм/с. Диаметр отстойника не должен превышать 10 м, а отноше-

ние диаметра вертикального остойника к высоте зоны осаждения должно быть не больше 1,5. Если диаметр отстойника превышает 4 м, то кроме кругового лотка устраивают радиальные желоба.

Число отстойников на очистной станции должно быть не менее Двух.

Площадь поперечного сечения вертикального отстойника слагается из площади зоны осаждения и площади камеры хлопьеобразования.

Площадь камеры хлопьеобразования определяется из расчета пребывания воды в ней в течение 15-20 мин. Высота камеры назна-чается в пределах 3,5-4,5 м.

Радиальные отстойники применяют преимущественно в промышленных системах водоснабжения на очистных станциях большой производительности при высоком содержании в воде взвешенных частиц. В этих отстойниках вода подается в центр, а затем движется в радиальном направлении и сливается в периферийный сборный желоб, из которого отводится по трубе. Как и в отстойниках других типов осветление здесь происходит вследствие создания малых скоростей движения, при которых взвешенные частицы выпадают на дно.

Радиальные отстойники имеют диаметр 20-60 м, глубину 3-5 м в центре и 1,5-3 м на периферии.

Преимущество этих отстойников состоит в том, что их конструкция позволяет осуществлять постоянное удаление осадка механизированным способом без прекращения работы отстойников.

Осветлители. Условия осветления воды значительно улучшаются при пропуске ее через слой взвешенного осадка. Частицы взвешенного осадка способствуют большему укрупнению хлопьев коагулянта. Крупные хлопья могут задержать больше взвешенных частиц, содержащихся в осветляемой воде.

На этом принципе работают сооружения, называемые *осветлителями со взвешенным осадком*.

Осветлители при равных объемах имеют более высокую производительность, чем отстойники, и требуют меньшего расхода коагулянта.

Для удаления воздуха, пузырьки которого могут взмучивать взвешенный осадок в осветлителе, воду предварительно направляют в воздухоотделитель.

Осветлитель коридорного типа (рис. 1.5) представляет собой прямоугольный резервуар. Коагулированная вода поступает в осветлитель по трубе *9* и через дырчатые трубы *7* распределяется в нижней (рабочей) части *2* осветлителя. Скорость движения воды в рабочей части должна быть та-

кой, чтобы хлопья коагулянта находились во взвешенном состоянии. Этот взвешенный слой способствует задержанию взвешенных частиц.

Степень осветления воды при этом значительно больше, чем в обычном отстойнике. Выше рабочей части находится защитная зона *3*, где взвешенного слоя нет.

Осветленная вода отводится по лоткам *4* и трубе *10* для последующей обработки. Избыточное количество осадка подсасывается трубой *5* через окна *6* в осадкоуплотнитель *7*, откуда уплотненный осадок периодически или непрерывно сбрасывается в канализацию по трубам *8*.

Скорость восходящего потока в рабочей части осветлителя при-нимают в пределах 1-1,2 мм/с.

Высота слоя взвешенного осадка составляет 2-2,5 м, а высота зоны осветления 1,5-2 м. Время уплотнения осадка в осадкоуплотнителе от 3 до 12 ч.

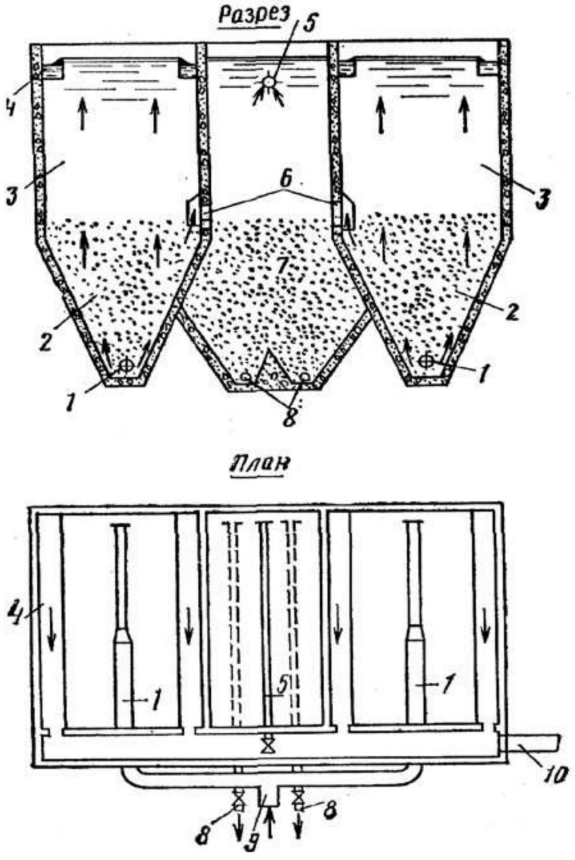


Рисунок 1.5. Осветлитель коридорного типа

1.5. Фильтрование воды

Обычно после осветления воды в отстойниках или осветлителях ее фильтруют. Для фильтрования воду пропускают через слой мелкозернистого фильтрующего материала, задерживающего содержащиеся в ней частицы мелкой взвеси. В качестве фильтрующего материала применяют кварцевый песок, гравий, дробленый антрацит и другие материалы.

Различают *скорые, сверхскоростные* и *медленные* фильтры. Скорые фильтры применяют при коагулировании воды, медленные – при обработке воды без коагулирования, сверхскоростные могут работать с коагулированием воды и без него.

Фильтры бывают **открытые** (безнапорные) и напорные (закрытые). Скорые фильтры чаще всего бывают открытые, сверхскоростные всегда напорные, медленные всегда открытые. Движение воды через безнапорные, или самотечные фильтры, заполненные до определенной отметки фильтрующей загрузкой, происходит под напором, создаваемым разностью отметок уровней воды в фильтре и на выходе из него. Движение воды через слой фильтрующей загрузки напорных фильтров происходит под напором, создаваемым насосами.

Скорые фильтры. Скорый фильтр представляет собой загруженный фильтрующим материалом резервуар, снабженный устройствами для подачи воды, сбора профильтрованной воды и промывки загрузки.

Необходимость в промывке загрузки объясняется тем, что в процессе работы фильтр постепенно засоряется и его гидравлическое сопротивление увеличивается. Промывку производят чистой водой в направлении снизу вверх. Частота промывки фильтра зависит от качества сырой воды и обычно не превышает 1-2 раз в сутки.

По конструкции различают открытые скорые фильтры однопоточные с движением воды только сверху вниз и двухпоточные – С одновременным движением воды сверху вниз и снизу вверх. Однопоточные фильтры могут иметь загрузку из однородного фильтрующего материала или из различных материалов – двух– или многослойные фильтры.

Выбор той или иной системы фильтров определяется технологическими и технико-экономическими показателями.

В *однопоточных открытых скорых фильтрах* (рис. 1.6) коагулированная и осветленная вода подается по трубопроводу *3* в карман *2*. Проходя фильтрующую загрузку *10* и поддерживающий гравийный слой *9*, вода через дырчатое днище *5* поступает в дренаж *8*, откуда по трубопроводу *6* направляется в резервуар чистой воды. Труба *7* служит для опорожнения фильтра на время его ремонта. Промывная вода при промывке подается по трубоп-

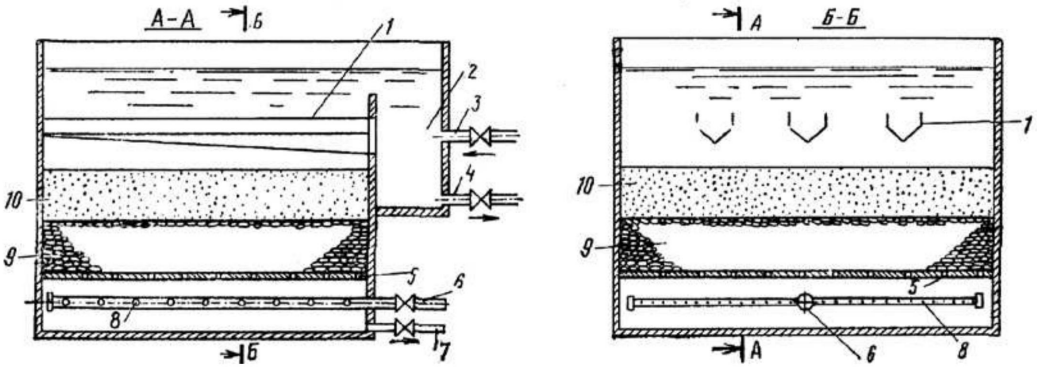


Рисунок 1.6. Однопоточный открытый скорый фильтр

роводу *6*, проходит поддерживающий гравийный слой *9* и фильтрующую загрузку *10* и сбрасывается в промывные желоба *1*. Затем загрязненная промывная вода по трубопроводу *4* направляется в водосток.

Толщина фильтрующей загрузки зависит от крупности слагающих ее зерен песка и принимается в пределах 0,7-2 м. При этом расчетные скорости фильтрования при нормальном режиме составляют 5,5-10 м/ч.

В последние годы стали применять двухслойные фильтры, загружаемые сверху на высоту 400-500 мм дробленым антрацитом, а ниже на высоту 600-700 мм кварцевым песком. Такие фильтры обладают большей грязеемкостью, чем фильтры, загруженные только песком. Производительность двухслойного фильтра почти в 2 раза больше производительности однослойного.

Поддерживающий гравийный слой устраивают высотой 650 мм из частиц крупностью от 2 до 40 мм. Крупность загрузки увеличивается сверху вниз. Гравийный слой служит для предотвращения вымывания фильтрующего материала.

Назначение дренажа – равномерное отведение профильтрованной воды. Различают дренажи большого и малого сопротивления. Последние в настоящее время почти не применяются. Дренажи большого сопротивления бывают трубчатые и колпачковые. В последнее время широкое распространение получили также щелевые дренажи.

Они позволяют отказаться от гравийного поддерживающего слоя и тем самым уменьшить высоту фильтра.

Промывку фильтров проводят со скоростью, в 7-10 раз большей скорости фильтрования. Продолжительность промывки 5-8 мин.

В *двухпоточных открытых скорых фильтрах* (рис. 1.7) основная масса воды проходит через фильтрующий материал снизу вверх, а часть воды, посту-

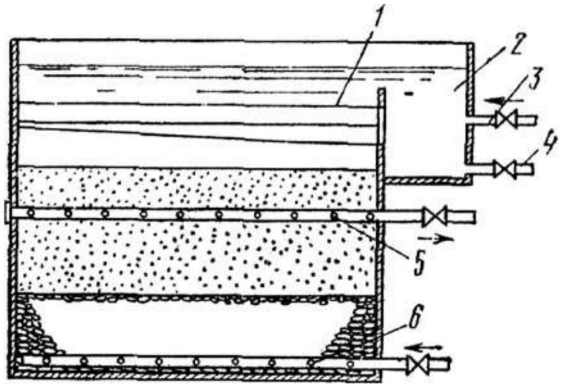


Рисунок 1.7. Двухпоточный открытый скорый фильтр

пающей по трубе *3*, карману *2* и желобу *1*, фильтруется сверху вниз. Профильтровавшаяся вода отводится трубчатым дренажем *5*, устраиваемым из щелевых асбестоцементных или винипластовых труб.

Дренажная система располагается в толще фильтрующего слоя на расстоянии 500-600 мм от поверхности загрузки.

Промывная вода подается в дренаж *5* для взрыхления верхнего слоя песка. Интенсивность подачи воды 6-8 л/ (с • м^2). Затем промывная вода подается в распределительную систему *6* для промывки всего слоя загрузки. Интенсивность подачи воды 10-15 л/ (с-м^2). Загрязненная вода через желоб *1*, карман *2* и трубу *4* сбрасывается в водосток.

Скорость фильтрования в двухпоточных фильтрах 12 м/ч.

Крупнозернистые скорые фильтры применяют для частичного осветления воды, используемой для технических целей на промышленных предприятиях. Эти фильтры бывают напорные и открытые. Для загрузки фильтров чаще всего применяю! кварцевый песок крупностью 1-2,5 мм. Высота слоя загрузки 1,5-3 м. Скорость фильтрования 10-15 м/ч. Промывку крупнозернистых фильтров производят водой и воздухом в такой последовательности: 1) взрыхление фильтрующей загрузки водой; 2) водовоздушная промывка; 3) отмывка водой. Интенсивность промывки водой 6-8 л/ (с • м^2), воздухом – 15-25 л/ (с * м^2).

Сверхскоростные фильтры по конструкции бывают вертикальные и горизонтальные. Поддерживающий гравийный слой в этих фильтрах не устраивают. В нижней части фильтра располагают трубы для промывки и продувки его воздухом. Наибольшее распространение получили вертикальные фильтры. Скорости фильтрования в таких фильтрах 25-100 м/ч. Применяют их для частичного осветления воды. Работа фильтров, регулирование скорости фильтрования и промывка фильтров автоматизированы. Для очистных станций большой производительности применяют

горизонтальные фильтры, имеющие большую площадь фильтрования по сравнению с вертикальными. Потери напора в фильтрах достигают 10 м.

Медленные фильтры. Медленные фильтры применяют на очистных станциях малой производительности. По способу регенерации загрузки эти фильтры бывают двух типов; 1) с удалением загрязненного слоя, 2) с отмывкой загрязненного слоя непосредственно в фильтре путем механического рыхления слоя и гидравлического удаления загрязнений. Высоту слоя загрузки песка крупностью 0,3-2 мм принимают равной 850 мм и гравия крупностью 2-40 мм – равной 450 мм. При регенерации с отмывкой загрузки непосредственно в фильтре ширина секции фильтров должна быть не более 6 м, длина – не более 60 м. Слой воды над поверхностью загрузки ранен 1,5 м. Скорость фильтрования для медленных фильтров составляет 0,1-0,2 м/ч.

Контактные осветлители представляют собой сооружения комбинированного типа. В них совмещаются процессы хлопьеобразования, отстаивания и фильтрования. Это позволяет значительно уменьшить объем сооружений. Принцип работы контактного осветлителя состоит в том, что при фильтровании воды через слой зернистой загрузки на поверхности слагающих ее зерен сорбируются взвешенные и коллоидные частицы.

Движение воды в контактных осветлителях происходит снизу вверх. Скорость фильтрования 4-5 м/ч. Для загрузки осветлителей применяют гравий и кварцевый песок. Гравийный поддерживающий слой имеет крупность зерен 2-32 мм и высоту 350-500 мм. Высота фильтрующего слоя песка 2000-2300 мм при эквивалентном диаметре зерен 0,7-2 мм.

Загрузку промывают восходящим потоком воды и воздуха. Для равномерного распределения воды и воздуха применяют трубчатую распределительную систему большого сопротивления с поддерживающим гравийным слоем или без него. Режим водовоздушной промывки назначают следующий: 1) продувка 1-1,5 мин; 2) совместная промывка водой и воздухом в течение 6-7 мин с интенсивностью подачи воды 2-3 л/ (с • м^2); 3) последующая промывка водой с интенсивностью 6-7 л/ (с • м^2) в течение 4-6 мин.

Контактные осветлители могут работать с постоянной скоростью фильтрования в период рабочего цикла и с переменной скоростью, убывающей к концу Цикла.

1.6. Обеззараживание воды

Вода поверхностных источников, как правило, содержит болезнетворные бактерии. В результате отстаивания и фильтрования из воды удаляется до

95% бактерий. Для уничтожения оставшихся бактерий воду обеззараживают. С этой целью используют жидкий хлор, гипохлорит натрия, растворы гипохлоритов, полученные электролитическим путем, озон, двуокись хлора и бактерицидное облучение. Воду в хозяйственно-питьевых водопроводах, питающихся из подземных источников, обеззараживают в случае возможного попадания в эти источники болезнетворных бактерий.

Хлорирование. Наиболее распространенным методом обеззараживания является хлорирование. Для хлорирования используют хлорную известь или газообразный хлор.

Хлорную известь применяют при малых расходах воды. При введении в воду хлорная известь распадается на гипохлорит кальция и хлористый кальций. Гипохлорит кальция реагирует с углекислотой или бикарбонатами кальция, находящимися в воде, образуя хлорноватистую кислоту, которая легко распадается с образованием атомарного кислорода, оказывающего бактерицидное действие. При введении в воду газообразного хлора образуются хлорноватистая и соляная кислоты. Хлорноватистая кислота распадается с выделением атомарного кислорода. Необходимый эффект хлорирования достигается в результате хорошего перемешивания и 30-минутного контакта хлора с водой. Такой контакт происходит в контактном резервуаре или в трубопроводе, подающем воду потребителям.

Вода, поступающая к потребителям, должна содержать в 1 л 0,3-0,5 мг хлора (так называемый остаточный хлор), что свидетельствует о достаточности введенной дозы хлора для полного обеззараживания воды. На 1 л фильтрованной воды вводят 2-3 мг хлора, а на 1 л нефильтрованной речной воды – до 6 мг хлора.

Обычно применяют двойное хлорирование, добавляя хлор перед отстаиванием и после фильтрования.

Для дозирования хлора служат хлораторы. По принципу работы их делят на вакуумные и напорные. Напорные хлораторы имеют тот недостаток, что в них газообразный хлор находится под давлением выше атмосферного и поэтому возможны утечки газа, который очень ядовит. Вакуумные хлораторы не имеют этого недостатка.

Хлор доставляют на станцию в сжиженном виде в баллонах. Из этих баллонов хлор переливают в промежуточный баллон, где он переходит в газообразное состояние. Газ поступает в хлоратор. Здесь он растворяется в водопроводной воде, образуя хлорную воду, которая вводится в трубопровод, транспортирующий воду, предназначенную для хлорирования.

При повышении дозы хлора в воде остается неприятный запах. Такую воду необходимо дехлорировать. Для предотвращения образования хлорфенольного запаха на станциях в воду подают газообразный аммиак.

Для приготовления гипохлорита натрия электролитическим способом непосредственно на очистных сооружениях служат электролизеры с графитовыми пластинчатыми или засыпными магнетитовыми электродами. Электролизеры должны располагаться в изолированном помещении.

Озонирование. Сущность процесса обеззараживания воды озоном заключается в окислении бактерий атомарным кислородом, образующимся при распаде озона. Озон одновременно уменьшает цветность, запахи и привкусы воды.

Для обеззараживания 1 л воды подземных источников требуется 0,75-1 мг озона, а" 1 л фильтрованной воды поверхностных источников 1-3 мг озона.

Озон в виде озоно-воздушной смеси получают в электрических озонаторах из кислорода воздуха. В состав озонаторной установки входят сооружения для синтеза озона и для смешения озона с водой. Подготовка воздуха для синтеза состоит в задержании взвешенных частиц на фильтре, осушке воздуха в адсорберах с силикагелем или алюмогелем. Подготовленный воздух направляется в озонаторы.

Перемешивание полученной озоно-воздушной смеси с водой производится барботированием в колоннах, резервуарах. Применяют для этого также эжекторы-смесители и механические мешалки.

Бактерицидное облучение. Этот метод обеззараживания воды осуществляется с использованием ультрафиолетовых лучей, обладающих бактерицидными свойствами. Применяют его для обеззараживания небольших расходов воды подземных источников, а также фильтрованной воды поверхностных источников. В качестве источников излучения служат ртутно-кварцевые лампы высокого или низкого давления.

Эффект обеззараживания зависит от продолжительности и интенсивности излучения. Различают напорные бактерицидные установки, располагаемые на напорных или всасывающих трубопроводах, и безнапорные, устанавливаемые на горизонтальных трубопроводах или в специальных каналах.

Обеззараживание ультрафиолетовыми лучами не применяется для вод высокой мутности.

1.7. Специальная обработка воды

В зависимости от свойств воды источника водоснабжения или от требований, предъявляемых потребителями к качеству воды, может потребоваться

специальная ее обработка – умягчение, обезжелезивание, стабилизация, обессоливание, охлаждение и т.п.

Умягчение воды, предназначенной для хозяйственно-питьевых целей, обычно не производят. Однако оно необходимо для некоторых технологических процессов на промышленных предприятиях. Так, для отдельных производств текстильной, химической и пищевой отраслей промышленности требуется вода с жесткостью не более 1 мг-экв/л. Питательная вода для котлов среднего и высокого давления должна иметь жесткость не более 0,3 мг-экв/л.

Различают методы реагентного и катионитового умягчения воды, а также комбинированные методы.

Из методов реагентного умягчения наиболее распространен известково-содовый, при котором в воду добавляют известь для снятия временной (карбонатной) жесткости и кальцинированную соду для удаления постоянной (некарбонатной) жесткости. При введении в воду указанных реагентов образуются нерастворимые соединения, выпадающие в осадок, или соединения, сохраняющиеся в воде, но не обладающие свойствами солей жесткости.

После умягчения воду осветляют в отстойниках или осветлителях. Иногда для ускорения процесса осветления производят коагулирование воды, железным купоросом.

На *рисунке 1.8* приведена схема установки для умягчения воды известково-содовым методом.

При известково-содовом умягчении воды обычно применяют камеры хлопьеобразования вихревого типа.

Метод катионитового умягчения основывается на способности катионитов обменивать катионы натрия или водорода на катионы солей жесткости, содержащихся в воде. Умягчающую способность катионитов называют обменной способностью или емкостью поглощения.

В результате обменной реакции катионы солей жесткости переходят в состав катионита, а в воду переходят катионы натрия, образуя натриевые соли. Такое умягчение называют Na-катионированием. При H-катионировании в обменную реакцию с катионами магния и кальция вступают катионы водорода.

При работе установки катионит расходует катионы Na или H и теряет способность умягчать воду. В связи с этим необходима периодическая регенерация катионитового фильтра. Для восстановления катионов натрия через фильтр пропускают раствор поваренной соли, а для восстановления катионов водорода – раствор серной кислоты.

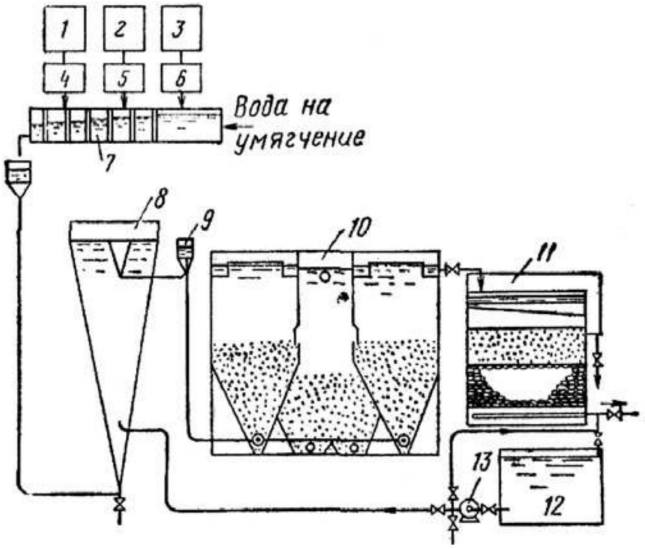


Рисунок 1.8. Установка для умягчения воды известково-содовым методом

1-3 – растворные бачки; *4-6* – дозирующие бачки; *7* – смеситель; *8* – камера хлопьеобразования; *9* – воздухоотделитель; *10* – осветлитель; *11* - фильтр; *12* – резервуар; *13* – насос

После H-катионирования увеличивается кислотность воды, а после Na-катионирования вода приобретает повышенную щелочность. Применяя H-Na-катионирование, умягченную воду не нужно ни подщелачивать, ни подкислять.

На *рисунке 1.9* приведена схема установки для Na-катионирования.

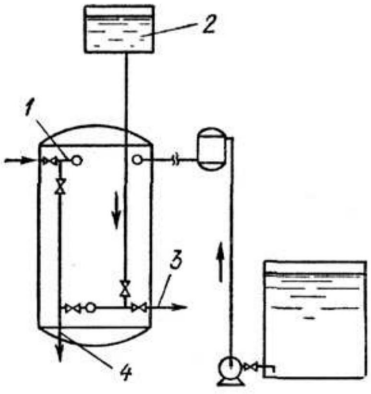


Рисунок 1.9. Установка для Na- катионирования

В напорный фильтр, загруженный катионитом, по трубе *1* вводится вода для умягчения. Вода проходит через катионит сверху вниз и отводится по трубопроводу *3*. Для промывки загрузки фильтра через его дренажную систему подается вода из промывного бака *2*. Продолжительность промывки

10-15 мин. Промывная вода сбрасывается по трубе *1*. Для регенерации катионита в фильтр вводят раствор соли. Солевой раствор из фильтра уходит по трубе *4*. Затем фильтр должен быть отмыт от солевого раствора. Для этого по трубе *7* подают сырую воду, которая проходит фильтр и сбрасывается по трубе *4*. Часть этой воды направляется в промывной бак.

Обезжелезивание воды. Содержание железа в питьевой воде не должно превышать 0,3 мг/л. На предприятиях ряда отраслей промышленности, например текстильной, содержание железа в воде, используемой для технологических нужд, не должно превышать 0,1-0,2 мг/л.

Обезжелезивание воды поверхностных источников проводится путем аэрации, введения реагентов-окислителей с аэрацией или без нее и путем катионирования. Одновременно происходит ее осветление и обесцвечивание.

Установка обезжелезивания методом аэрации состоит из аэрационного устройства, контактного резервуара и фильтра.

В аэрационном устройстве вода насыщается кислородом, частично удаляется углекислота, двухвалентное железо окисляется до трехвалентного. В контактном резервуаре завершается окисление двух-валентного железа и образуется осадок гидрата окиси железа. Фильтры служат для извлечения из воды гидрата окиси железа. Аэрация воды может осуществляться следующими способами: нагнетанием воздуха через дырчатые трубы или пористые пластины; подачей воздуха во всасывающий патрубок насоса; разбрызгиванием воды; пропуском воды через контактные или вентиляторные градирни. Наиболее распространены контактные градирни.

Установка для реагентного (с помощью коагулирования и известкования) обезжелезивания воды состоит из устройств для растворения и дозирования реагента, аэратора-смесителя, осветлителя и фильтра.

Аэратор-смеситель обычно совмещается с осветлителем и располагается над ним. Он представляет собой систему дырчатых днищ, расположенных одно над другим

Обезжелезивание катионированием производят на катионитовых фильтрах, загруженных сульфоуглем Фильтр регенерируют раствором поваренной соли.

Стабилизация воды заключается в придании ей свойств, при которых она теряет способность вызывать коррозию и откладывать соли, препятствует биологическому обрастанию.

Стабилизация воды необходима в промышленных системах оборотного водоснабжения, когда из-за испарения воды в охладительных сооруже-

ниях в ней повышается концентрация солей. Стабилизация воды в таких системах предотвращает образование накипи и развитие коррозии в теплообменных аппаратах и охладительных устройствах.

Для стабилизации воды применяют подкисление, рекарбонизацию и фосфатирование. Подкисление воды заключается в добавке в нее соляной или серной кислоты. При рекарбонизации в воду вводят углекислоту для стабилизации содержащихся в пей карбонатов. Для этого обычно используют дымовые газы, в состав которых входит углекислота. При фосфатировании в воду добавляют фосфаты (гексаметафосфат натрия, тринатрийфосфат и суперфосфат). Фосфаты препятствуют образованию отложений в трубопроводах и, кроме того, образуют на поверхности металла пленку, которая предотвращает развитие коррозии.

Для борьбы с биологическим обрастанием трубопроводов и оборудования в системах оборотного водоснабжения периодически применяют купоросование или хлорирование воды.

Обессоливание воды заключается в удалении из нее растворенных солей. Полное обессоливание необходимо, например, при подготовке питательной воды для котлов высокого давления. Частичное удаление растворенных солей называется *опреснением*.

Опреснение вод с солесодержанием до 2-3 г/л производится при помощи ионного обмена, вод с солесодержанием 3-15 г/л г – методом электродиализа или гиперфильтрации и вод с солесодержанием более 10 г/л – путем замораживания, дистилляции или гиперфильтрации.

Ионный обмен применяют для опреснения или обессоливания воды при количестве взвешенных частиц в ней не более 8 мг/л и цветности ее не более 8°. Опреснение воды путем ионного обмена обычно проводится по одноступенчатой схеме фильтрованием через катионит и слабоосновный анионит. Предусматривается удаление углекислоты из фильтрата катионитовых фильтров. Применяют также двух- и трехступенчатые схемы.

Охлаждение воды. В системах промышленного водоснабжения для охлаждения воды применяют охладительные пруды, брызгальные бассейны и градирни.

Охладительные пруды представляют собой искусственные водоемы, в хвостовую часть которых сбрасывают нагревшуюся воду, а из головной части которых забирают охлажденную воду. Охлаждение воды происходит вследствие ее испарения с поверхности и конвекции. Охладительный эффект пруда зависит от температуры наружного воздуха, силы и направления ветра. Для охлаждения 1 $м^3$ воды необходима площадь пруда 15–40 $м^2$. К недостаткам прудов относятся зарастание их в результате интенсивного развития водных организмов и минерализация воды. В связи с

этим пруды обычно устраивают только в тех случаях, когда необходимо регулирование водного стока.

Брызгальные бассейны выполняют в виде прямоугольных водонепроницаемых резервуаров глубиной до 1,5 м. Нагревшуюся воду разбрызгивают по поверхности воды с помощью брызгал. При разбрызгивании воды происходит ее охлаждение.

Градирни бывают капельными и пленочными.

Наиболее распространены градирни капельные башенного типа. Нагревающуюся воду подают в верхнюю часть башни и по желобам разводят по всей ее площади. Ороситель представляет собой систему деревянных реек. Вода из желобов падает на розетки, разбрызгивается и стекает вниз. Холодный воздух поступает через окна в нижней части оросителя и поднимается вверх, охлаждая воду. Общая высота градирен составляет 30-80 м. Охлажденная вода собирается под градирней. Площадь оросителя, необходимая для охлаждения 1 $м^3$ воды, составляет 0,25-0,3 $м^2$. В пленочных градирнях вода обтекает тонкой пленкой большие поверхности оросителя.

Применяют также градирни с искусственной подачей воздуха вентиляторами. В этом случае вытяжная башня не устраивается.

Градирни выполняют из дерева или железобетона.

Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

2.1. Общие положения

Контроль за работой очистных сооружений и сбросом сточных вод проводится для предупреждения и прекращения загрязнения водных объектов неочищенными и недостаточно очищенными сточными водами, а также повторного их использования в промышленности и сельском хозяйстве. Он включает в себя учет и регистрацию очистных сооружений; проверку эффективности очистки сточных вод; определение влияния сбрасываемых сточных вод на водные объекты и технологические процессы; выдачу предписаний по совершенствованию работы очистных сооружений.

Обследование очистных сооружений предполагает изучение проектных данных, технологической схемы и регламента работы очистных сооружений, а также их паспортов; ознакомление с ранее выданным разрешением на сброс очищенных сточных вод; проверку выполнения ранее выданных предписаний по улучшению работы очистных сооружений. Одновременно ведут контроль работы лаборатории, осуществляющей ведомственный контроль за эксплуатацией очистных сооружений. Причем особое внимание обращают на укомплектованность ее квалифицированными кадрами, оснащенность необходимым оборудованием, соблюдение согласованных с органами водоохраны методик, периодичности и объема анализов сточных вод, а также точек и порядка взятия проб, ведение отчетной документации, изучение данных лабораторного анализа сточных вод, поступающих на очистные сооружения, и сравнение их с проектными данными.

Во время обследования проверяют соблюдение регламентов на эксплуатацию каждого сооружения и организацию учета количества очищаемой воды, обращают внимание на степень автоматизации технологических процессов, подачу и дозирование реагентов, работу насосных станций, скребковых механизмов в отстойниках, регулирование работы аэраци-

онных сооружений, метантенков, механического обезвоживания осадков, обеззараживания хлором и других процессов, устанавливают соответствие находящихся в эксплуатации сооружений запроектированным.

При необходимости отбирают пробы и проводят анализ сточных вод для определения степени их очистки как на очистных сооружениях в целом, так и по отдельным ступеням. Место, время и способ взятия проб зависят от цели осуществляемой проверки и определяются в каждом конкретном случае с учетом режима работы очистных сооружений и возможных колебаний по времени состава и расхода сточных вод (рис. 2.1-2.3).

В *таблице 2.1* дана характеристика состава указанных на рис. 2.1-2.3 проб и перечень определений, которые должны выполняться с их содержимым.

Необходимо отметить, что взятие проб производится в обязательном порядке на входе и выходе из очистных сооружений или проверяемой ступени очистки с учетом времени прохождения сточных вод через сооружения.

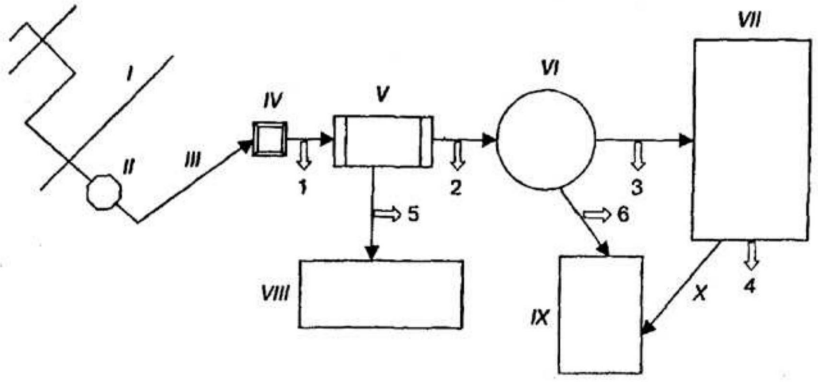


Рисунок 2.1. Схема сооружений биологической очистки сточных вод в естественных условиях с указанием мест взятия проб (1-6) для лабораторного контроля

I – сети водоотведения; II – насосная станция перекачки; III – напорный водовод;
IV – колодец-успокоитель; V – песколовка; VI – первичный отстойник;
VII – биологические пруды, поля фильтрации; VIII – песковые площадки;
IX – иловые площадки; X – дренажный канал; ⇒ – места взятия проб сточной воды

В последние годы одновременно с физико-химическими анализами обрабатываемой воды проводят биологические ее исследования с использованием живых организмов. В качестве тест-объектов выбирается один организм из следующих четырех категорий:

- бактерии (Pseudomonas, Mycobacterium, Escherchia Coli и т.д.);
- водоросли (Chlamydomonas, Dunaliella, Selenastrum и т.д.);
- беспозвоночные (чаще всего ракообразные, но также черви, простейшие и т.д.);
- рыбы (форель, гольян, гуппии, карп и Brachydanio).

Эти тесты могут быть либо статическими, либо динамическими. В статике изучаются, например, поведение и физиологические рефлексы рыб в лабораторном аквариуме, заполненном исследуемой водой. Наблюдение за жизнедеятельностью подопытных рыб производится с помощью приборов, размещенных также в аквариуме и работающих в автономном режиме. Если в воду введены токсичные вещества, то физическое состояние рыб ухудшается, что фиксируется этими приборами.

В динамических условиях биологические тесты применяют для определения случайного загрязнения водотока. Обычно используются рыбы (чаще всего форель или карп).

Нормативы контроля сбросов сточных вод по охране окружающей среды должны устанавливаться на основе наилучших существующих технологий (НСТ) с учетом экономических и социальных факторов.

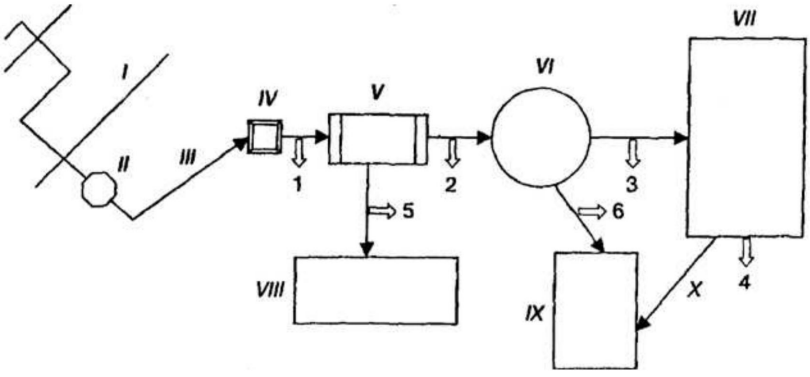


Рисунок 2.2. Схема сооружений механической очистки сточных вод в естественных условиях с указанием мест взятия проб (1-9) для лабораторного контроля

I-VI – те же, что на рис. 2.1; VII – хлораторная; VIII – смеситель ершового типа;
IX – вторичный отстойник; X – сбросной коллектор;
XI – песковые площадки; XII – иловые площадки;
⇒ – места взятия проб сточной воды

В настоящее время достаточно широко применяются следующие НСТ: полная биологическая очистка, полная биологическая очистка с доочисткой, биологическая очистка с полным окислением, биологическая очистка с нитри-денитрификацией и физико-химическая очистка. Показатели, которые достигаются при этих технологиях, приведены в *таблице 2.2*. Из таблицы видно, что применяемые наилучшие существующие технологии по основным показателям, за исключением фосфатов, соответствуют нормативам, установленным в странах ЕЭС. Следует, однако, отметить, что для большинства регионов удаление фосфатов до концентрации ниже 2 мг/дм^3 нецелесообразно, так как 70-80% данного биогенного элемента поступает в водные объекты с неорганизованными стоками. Из существующих технологий наилучшие показатели по удалению органических веществ и аммонийного азота обеспечивают сооружения биологической

очистки с полным окислением (сооружения продленной аэрации). Особенностью данного типа сооружений является увеличенный в 1,5-2 раза объем аэротенков, меньшие габариты вторичных отстойников и низкий прирост ила.

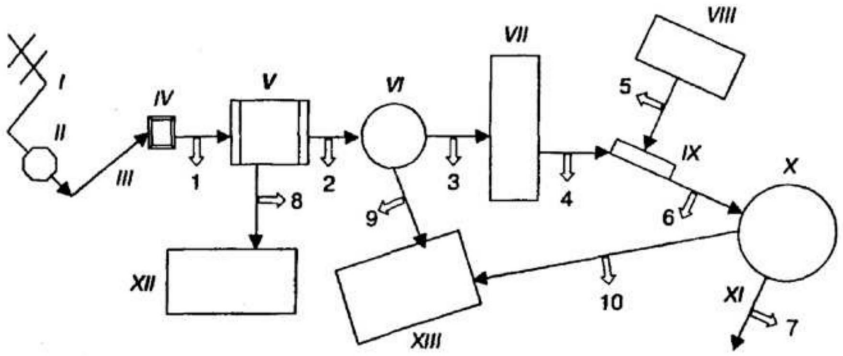


Рисунок 2.3. Схема сооружений биологической очистки сточных вод в искусственно созданных условиях с указанием мест взятия проб А-10) для лабораторного контроля

I-VI – те же, что на рис. 1.1 и 1.2; VII – биофильтр; VIII – хлораторная;
IX – смеситель ершового типа; X – вторичный отстойник; XI – сбросной коллектор;
XII – песковые площадки; XIII – иловые площадки;
⇒ – места взятия проб сточной воды

Практически аналогичные показатели достигаются на сооружениях биологической очистки с нитри-денитрификацией, однако в конструктивном отношении они значительно сложнее, поэтому НСТ предпочтительнее как более простая и дешевая в эксплуатации технология.

Примерный перечень анализов и состава сточных вод для основных методов их очистки представлен в *таблице 2.2*.

По результатам контрольных анализов определяют эффективность работы очистных сооружений и оценивают достаточность очистки сточных вод на них. (Фото 1-4)

Сооружения физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод (НСТ-5) применяются, когда возможны длительные перерывы в поступлении сточных вод (санатории, дома отдыха) или при низкой их температуре.

Однако в настоящее время использование этой технологии не имеет достаточно широкого распространения, так как наличие реагентных установок делает ее сложной в эксплуатации и приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды отходами реагентов.

Наибольшее распространение имеют классические сооружения полной биологической очистки, которые при относительно невысоких капитальных и эксплуатационных затратах обеспечивают высокую степень задержания органических и взвешенных веществ (до 90-95%).

№ точек взятия проб	Точки взятия проб в процессе очистки сточных вод	Наименование показателей		
		Физические показатели	Химические ингредиенты	Бактериологические показатели
1	Сырые сточные воды, поступающие на очистные сооружения	+	+	+
2	Сточные воды после песколовки	+	–	–
3	Сточные воды после первичного отстойника	+	–	+
	по рисунку 2.1			
4	Биологические пруды, поля фильтрации, поля орошения	–	+	+
5	Осадок после песколовки	+	–	–
6	Осадок после первичного отстойника	+	+	–
	по рисунку 2.2			
4	Концентрация хлора	–	+	–
5	Сточные воды после хлорирования	–	+	–
6	Сточные воды после очистки на сооружениях	+	+	+
7	Осадок после песколовки	+	–	–
8	То же после первичного отстойника	+	+	–
9	То же после вторичного отстойника	+	+	–
	по рисунку 2.3			
4	Сточные воды после биофильтра, аэротенка	–	+	+
5	Концентрация хлора	–	+	–
6	Сточные воды после хлорирования		+	–
7	Сточные воды после очистки на сооружениях	+	+	+
8	Осадок после песколовки	+	–	+
9	То же после первичного отстойника	+	+	+
10	То же послевторичного отстойника	+	+	+

Таблица 2.1.
Характеристика указанных на рис. 2.1–2.3 мест взятия проб и перечень соответствующих определений

Примечание: Знак (+) указывает на необходимость определения показателя, а при знаке (–) пробы не отбираются и анализ воды не производится

Таблица 2.2.
Примерный перечень анализов и состава сточных вод для основных методов их очистки

Метод очистки	Очистное сооружение	Ожидаемый эффект очистки	Перечень анализируемых показателей
Механический	Отстойник горизонтальный и вертикальный	Уменьшение содержания взвешенных веществ, увеличение прозрачности и снижение $БПК_5$	Окраска, запах, прозрачность, взвешенные вещества, содержание осадка по объему
	Двухъярусный отстойник	Уменьшение содержания взвешенных веществ, увеличение прозрачности и снижение $БПК_5$ для жидкой фазы сточных вод. Изменение свойств осадка (улучшение внешнего вида, устранение зловония, разрушение его коллоидной структуры, уплотнение)	Окраска, запах, прозрачность, взвешенные вещества, содержание осадка по объему, вид осадка, запах, pH иловой воды
Биологический	Поля фильтрации, поля орошения, биологические пруды, очистка с применением биофильтров, аэротенки с расчетом на полную или неполную очистку	Минерализация органического вещества, уменьшение содержания и изменение состава взвешенных веществ, изменение органолептических свойств сточных вод (окраска, прозрачность, запах)	Температура, pH, окраска, прозрачность, запах, осадок по объему, взвешенные вещества, растворенный кислород, окисляемость, БПК, стабильность, азот нитратов и нитритов, специфические загрязняющие вещества. В случае необходимости производится анализ активного ила
Химический	Сооружение для нейтрализации кислых и щелочных промышленных сточных вод, сооружение для полного или частичного освобождения сточных вод от вредных веществ	Усреднение водородного показателя (pH) до величины, установленной расчетом. Снижение содержания вредных веществ в сточных водах до пределов, установленных расчетом. Изменение внешних свойств сточных вод (обесцвечивание, устранение запаха, увеличение прозрачности)	pH, окраска, запах, прозрачность, вредные вещества, характерные для данного объекта; остаточные количества реагентов (в необходимых случаях)

Фото 2.1–2.2.
Лаборатория ВиВ Варшавского университета естественных наук, г. Варшава, Польша

Фото 2.3–2.4.
Лаборатория контроля качества воды Казахского национального аграрного университета, г. Алматы, Казахстан

Глава 3. СОСТАВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

3.1. Сточные воды и их характеристика

Сточные воды – это пресные воды, загрязненные в бытовой и производственной деятельности человека, а также атмосферная вода, отводимая с территорий населенных пунктов и изменившие после использования свои физико-химические свойства и требующие отведения.

Перед сбросом в реки сточные воды следует очищать до такой степени, чтобы не отравить речную воду и не придать ей неприятного запаха. Так как загрязненные воды могут содержать в большем или меньшем количестве многие вещества. Находящиеся в сточных водах твердые вещества различаются по крупности. Диапазон крупности довольно широк: от крупных механических примесей, задерживаемых решетками с прозорами в несколько сантиметров, до полурастворенных и растворенных веществ, различимых лишь с помощью микроскопа. Среди них имеются частицы, находящиеся во взвешенном состоянии, от крупных песчинок до мельчайших взвесей.

Загрязненные воды могут содержать в большем или меньшем количестве многие вещества. Находящиеся в сточных водах твердые вещества различаются по крупности. Диапазон крупности довольно широк: от крупных механических примесей, задерживаемых решетками с прозорами в несколько сантиметров, до полурастворенных и растворенных веществ, различимых лишь с помощью микроскопа. Среди них имеются частицы, находящиеся во взвешенном состоянии, от крупных песчинок до мельчайших взвесей.

Мутность воды объясняется наличием в ней полурастворенных, или, как их иногда еще называют, коллоидных частиц. Эти частицы настолько малы, что не оседают на дно, а находятся во взвешенном состоянии вследствие беспорядочного теплового движения молекул воды. Этот процесс назван броуновским движением молекул по имени впервые открывшего его ученого. Растворенные вещества неразличимы невооруженным глазом и не вызывают помутнения воды.

Осаждающиеся, полурастворенные и растворенные вещества, находящиеся в сточных водах, – это преимущественно (58%) органические вещества, т.е. продукты живой природы. Поскольку все они представляют собой химические соединения углерода, то в сухом состоянии горят. Остальные твердые вещества (42%) являются неорганическими. К ним относятся такие минералы, как песок, глина и т.п.; эти вещества не горят. В природе все органические вещества спустя какое-то время разлагаются. Осадок, состоящий преимущественно из органических веществ, превращается вскоре в гниющую массу с очень неприятным запахом. При этом не только осадок, но и находящаяся над ним мутная вода скоро начинает загнивать, что легко определяется по запаху. В такой воде имеется еще значительное количество разлагающихся органических веществ.

По происхождению сточные воды могут быть классифицированы на следующие: бытовые, производственные и атмосферные.

Бытовые сточные воды образуются в жилых, административных и коммунальных (бани, прачечные и др.) зданиях, а также в бытовых помещениях промышленных предприятий. Это сточные воды, которые поступают в водоотводящую сеть от санитарных приборов (умывальников, раковин или моек; ванн, унитазов и трапов – напольных приборов с решетками).

В городах расход бытовых вод с 1 га площади кварталов обычно равен 0,3-2 л/с (удельный расход) или 10000-60000 м^3/год. В водоотводящую сеть они поступают сравнительно неравномерно и по часам суток и по суткам в году. В дневное время расход больше, чем в ночное, расходы по часам суток могут изменяться в 2-5 раз. В течение года в отдельные сутки расходы бытовых вод изменяются незначительно, лишь в 1,1-1,2 раза. Особенности образования этих сточных вод хорошо известны, которые представлены белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения, а также неорганическими примесями: частицы кварцевого песка, глины, соли, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека. В бытовых сточных водах содержится около 60% органических и 40% минеральных загрязнений.

Производственные сточные воды образуются в процессе производства различных товаров, изделий, продуктов, материалов и пр. К ним относятся отработавшие технологические растворы, маточники, кубовые остатки, технологические и промывные воды, воды барометрических конденсаторов, вакуум-насосов и охлаждающих систем; шахтные и карьерные воды; воды химводоочистки, воды от мытья оборудования и производственных помещений, а также от очистки и охлаждения газообразных отходов, очистки твердых отходов и их транспортировки.

Производственные сточные воды различных отраслей промышленности существенно отличаются как по составу загрязняющих веществ, так и по

их концентрации. Для примера ниже приведены характеристики сточных вод некоторых отраслей промышленности.

В сточных водах заводов черной металлургии по отдельным цехам содержится: взвешенных неорганических веществ 0,2-5 г/л; окалины 0,3-2 г/л; фенола 0,7-1 г/л, смол и масел 0,2-1,8 г/л.

В сточных водах целлюлозно-бумажных заводов взвешенных веществ содержится 400-2000 мг/л. Это преимущественно древесное волокно и целлюлоза. БПК сточных вод составляет 100-200 мг/л для общего стока сульфатных заводов и 0,8-2 г/л сульфитных.

В сточных водах текстильных предприятий содержится: взвешенных веществ 250-400 мг/л, моющих средств 50-120 мг/л, БПК их достигает 300-350 мг/л.

В сточных водах предприятий тяжелой индустрии содержатся в основном загрязнения минерального происхождения, а пищевой и легкой промышленности – загрязнения органического происхождения.

На металлообрабатывающих предприятиях сточные воды загрязнены минеральными веществами. Пищевая промышленность дает загрязнения органическими примесями. Большинство же предприятий имеют загрязнения сточных вод как минеральные, так и органические, в различных соотношениях. Концентрация загрязнений сточных вод различных предприятий неодинакова. Она колеблется в весьма широких пределах в зависимости от расхода воды на единицу продукции, совершенства технологического процесса и производственного оборудования. Концентрация загрязнений в производственных сточных водах может сильно колебаться во времени и зависит от хода технологического процесса в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока сточных вод и их концентрации во всех случаях ухудшает работу очистных сооружений и усложняет эксплуатацию.

Атмосферные сточные воды образуются в процессе выпадения дождей и таяния снега, как на жилой территории населенных пунктов, так и территории промышленных предприятий, АЗС и др. Часто эти воды называют дождевыми или ливневыми, вследствие того, что в большинстве случаев максимальные (расчетные) расходы образуются в результате выпадения ливней (дождей).

В дождевых водах содержится значительное количество нерастворенных минеральных примесей, а также загрязнения органического происхождения. БПК дождевых вод достигает 50-60 мг/л.

Исследованиями установлено, что дождевые воды могут являться источниками загрязнения водоемов. Расход дождевых вод с 1 га площади тер-

ритории города достигает 150 л/с (1 раз в год) и 300 л/с (1 раз в 10 лет). Это в 50-300 раз больше расхода бытовых вод. В то же время общий расход дождевых вод за год составляет 1500-2000 м^3 с 1 га, т.е. в 5-30 раз меньше расхода бытовых вод. Образование (выпадение) дождевых вод происходит весьма неравномерно. Их расход изменяется от нуля (в сухую погоду) до максимального значения 300 л/с (в период выпадения интенсивных ливней), то есть можно отметить, что особенностью этих вод является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

Основными характеристиками сточных вод являются: количество сточных вод, характеризуемое расходом, измеряемым в л/с или м^3/с, м/ч, м /смену, м/сут и т.д.; виды (компоненты) загрязнений и содержание их в сточных водах, характеризуемое концентрацией загрязнений, измеряемой в мг/л или г/м^3. Важной характеристикой сточных вод является степень равномерности (или неравномерности) их образования и поступления в водоотводящие системы. Обычно она определяется неравномерностью поступления сточных вод по часам суток в году. Эти характеристики учитываются при проектировании водоотводящих систем.

В бытовых сточных водах содержатся загрязнения минерального и органического происхождения, а также биологические.

Органические загрязнения – это примеси растительного и животного происхождения.

Минеральные загрязнения – это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т.д.

Те и другие находятся в нерастворенном, растворенном и коллоидном состояниях. Часть нерастворенных загрязнений, задерживаемых при анализах на бумажных фильтрах, называют взвешенными веществами. Наибольшую санитарную опасность представляют загрязнения органического происхождения. В бытовых сточных водах взвешенных веществ органического происхождения содержится в среднем 100... 300 мг/л. Содержание органических загрязнений, находящихся в растворенном состоянии, оценивается значениями биохимической потребности в кислороде (БПК) и химической потребности в кислороде (ХПК). Бытовые сточные воды имеют БПК = 100... 400 мг/л, а ХПК = 150... 600 мг/л, и их можно оценить как весьма загрязненные. При хранении они способны загнить через 12-24 ч (при t = 20°С).

Биологические и бактериальные загрязнения – это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные – возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Все примеси сточных вод независимо от их происхождения разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

К *первой группе примесей* относят нерастворимые в воде грубо-дисперсные примеси. Нерастворимыми могут быть примеси органической или неорганической природы. К этой группе относят микроорганизмы (простейшие, водоросли, грибы), бактерии и яйца гельминтов. Эти примеси образуют с водой неустойчивые системы. При определенных условиях они могут выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

Вторую группу примесей составляют *вещества коллоидной степени дисперсности* с размером частиц менее 10^{-6} см. Гидрофильные и гидрофобные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер их частиц затрудняем осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

К *третьей группе* относят примеси с размером частиц менее 10^{-7} см. Они имеют *молекулярную степень дисперсности*. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

Примеси четвертой группы имеют размер частиц менее 10^{-8} см, что соответствует *ионной степени дисперсности*. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности аммонийные соли и фосфаты, частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако технология очистки бытовых сточных вод (полная биологическая очистка) не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют следующие физико-химические методы очистки: ионный обмен, электродиализ и т.д.

Достаточно широко используется понятие «городские сточные воды». Под ним понимается смесь бытовых и производственных сточных вод. В реальных условиях в чистом виде бытовых вод не бывает. В сточных водах, поступающих от городов, всегда содержатся компоненты загрязнений, характерные для производственных сточных вод (нефтепродукты, кислоты, щелочи, соли и др.). При решении задач отвода и очистки городских сточных вод это необходимо учитывать.

Сточные воды могут содержать нерастворенные, коллоидные и растворенные загрязнения.

Количество нерастворенных загрязнений, вносимых одним человеком в бытовые сточные воды, составляет около 65 г/сут. Концентрация нерастворенных загрязнений бытовых сточных вод, мг/л, определяется по формуле:

$$p_{быт} = 1000b / q \qquad (3.1)$$

где b – количество загрязнений, вносимых одним человеком в бытовые сточные воды, г/сут; q – норма водоотведения на одного человека, л/сут.

Городские сточные воды представляют собой смесь бытовых и производственных сточных вод. Концентрация нерастворенных загрязнений городских сточных вод, г/м^3, определяется по формуле:

$$p_{ст} = \frac{p_{быт} Q_{быт} + \Sigma p_{пр} Q_{пр}}{Q_{быт} + \Sigma Q_{пр}} \qquad (3.2)$$

где $p_{быт}$ и $\Sigma p_{пр}$ – концентрация нерастворенных загрязнений бытовых и производственных сточных вод, г/м^3; $Q_{быт}$ и $\Sigma Q_{пр}$ – расход бытовых и производственных сточных вод, м^3/сут.

В процессе обработки сточных вод на очистных сооружениях значительная часть нерастворенных загрязнений выпадает в отстойных сооружениях, образуя осадок. Этот осадок имеет высокую *влажность*. В зависимости от типа сооружений, в которых этот осадок образуется, и состава осадка влажность его колеблется в пределах 90–99,5%.

Осадок состоит из органических и минеральных веществ. Для оценки соотношения органических и минеральных веществ используют понятие *зольность*, которая характеризует количество минеральных веществ в осадке. Ее выражают в процентах. Зольность осадка городских сточных вод составляет 25–35%. Органические вещества называют иначе беззольными веществами. Их в осадке городских сточных вод содержится 65–75%.

Все указанные выше сточные воды требуют обязательной очистки при их отведении в открытые водоемы, так как в них содержатся различные загрязняющие вещества в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые.

Различная степень загрязнения сточных вод и природа их образования выдвигают при проектировании важную задачу совместного или раздельного отведения отдельных видов сточных вод, совместной или раздельной их очистки. Процессы очистки воды реализуются с использованием различных сложных процессов с заметными удельными энергозатратами. Чем выше концентрация загрязнений и чем больше разнородность со-

става, тем выше энтропия и больше энергетические затраты на очистку воды. Разнородность состава загрязнений сточных вод и действующие явления диссипации при изменении энергетического состояния системы способствуют тому, что стопроцентная очистка сточных вод невозможна, и поэтому она регламентируется значениями предельно допустимых концентраций (ПДК).

3.2. Санитарно–химические показатели загрязнения сточных вод

Состав сточных вод и их свойства оценивают по результатам санитарно-химического анализа, включающего наряду со стандартными химическими тестами ряд физических, физико-химических и санитарно-бактериологических определений.

Сложность состава сточных вод и невозможность определения каждого из загрязняющих веществ приводят к необходимости выбора таких показателей, которые характеризовали бы определенные свойства воды без идентификации отдельных веществ.

Полный санитарно-химический анализ предполагает определение следующих показателей: температура, окраска, запах, прозрачность, величина pH, сухой остаток, плотный остаток и потери при прокаливании (п.п.п.), взвешенные вещества, оседающие вещества по объему и по массе, перманганатная окисляемость, химическая потребность в кислороде (ХПК), биохимическая потребность в кислороде (БПК), азот (общий, аммонийный, нитритный, нитратный), фосфаты, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы и другие токсичные элементы, поверхностно-активные вещества (ПАВ), нефтепродукты, растворенный кислород, микробное число, бактерии группы кишечной палочки (БГКП), яйца гельминтов. В число обязательных тестов полного санитарно-химического анализа на городских очистных станциях может быть включено определение специфических примесей, поступающих в водоотводящую сеть населенных пунктов от промышленных предприятий.

Температура – один из важных технологических показателей. Функцией температуры является вязкость жидкости и, следовательно, сила сопротивления оседающим частицам. Важнейшее значение имеет температура для биологических процессов очистки, так как от нее зависят скорости биохимических реакций и растворимость кислорода в воде.

Окраска – один из органолептических показателей качества сточных вод. Хозяйственно-фекальные сточные воды обычно слабо окрашены и имеют желтовато-буроватые или серые оттенки. Наличие интенсивной окраски различных оттенков – свидетельство присутствия производственных сточ-

ных вод. Для окрашенных сточных вод определяют интенсивность окраски по разведению до бесцветной, например 1:400; 1:250 и т.д.

Запах – органолептический показатель, характеризующий наличие в воде пахнущих летучих веществ. Обычно запах определяю качественно при температуре пробы 20°С и описывают как фекальный, гнилостный, керосиновый, фенольный и т.д. При неясно выраженном запахе определение повторяют, подогревая пробу до 65°С. Иногда необходимо знать пороговое число – наименьшее разбавление, при котором запах исчезает.

Концентрация ионов водорода выражается величиной pH. Этот показатель чрезвычайно важен для биохимических процессов, скорость которых может существенно снижаться при резком изменении реакции среды. Установлено, что сточные воды, подаваемые на сооружения биологической очистки, должны иметь значение pH в пределах 6,5-8,5. Производственные сточные воды (кислые или щелочные) должны быть нейтрализованы перед сбросом в водоотводящую сеть, чтобы предотвратить ее разрушение. Городские сточные воды обычно имеют слабощелочную реакцию среды (pH = 7,2-7,8).

Прозрачность характеризует общую загрязненность сточной воды нерастворенными и коллоидными примесями, не идентифицируя вид загрязнений. Прозрачность городских сточных вод обычно составляет 1-3 см, а после очистки увеличивается до 15-30 см.

Сухой остаток характеризует общую загрязненность сточных под органическими и минеральными примесями в различных агрегативных состояниях (в мг/л). Определяется этот показатель после выпаривания и дальнейшего высушивания при t = 105°С пробы сточной воды. После прокаливания (при t = 600°С) определяется зольность сухого остатка. По этим двум показателям можно судить о соотношении органической и минеральной частей загрязнений в сухом остатке.

Плотный остаток – это суммарное количество органических и минеральных веществ в профильтрованной пробе сточных вод (мг/л). Определяется при таких же условиях, что и сухой остаток. После прокаливания плотного остатка при t = 600°С можно оценить соотношение органической и минеральной частей растворимых загрязнений сточных вод. При сравнении прокаленных сухого и плотного остатков городских сточных вод определено, что большая часть органических загрязнений находится в нерастворенном состоянии. При этом минеральные примеси в большей степени находятся в растворенном виде.

Взвешенные вещества – показатель, характеризующий количество примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в про-

цессе очистки сточных вод. Кроме того, этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников.

Количество взвешенных веществ – один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод. Потери при прокаливании взвешенных веществ определяются так же, как для сухого и плотного остатков, но выражаются обычно не в мг/л, а в виде процентного отношения минеральной части взвешенных веществ к их общему количеству по сухому веществу. Этот показатель называется зольностью. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно составляет 100-500 мг/л.

Оседающие вещества – часть взвешенных веществ, оседающих на дно отстойного цилиндра за 2 ч отстаивания в покое. Этот показатель характеризует способность взвешенных частиц к оседанию, позволяет оценить максимальный эффект отстаивания и максимально возможный объем осадка, который может быть получен в условиях покоя. В городских сточных водах оседающие вещества в среднем составляют 50-75% общей концентрации взвешенных веществ.

Под *окисляемостью* понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям. В зависимости от природы используемого окислителя различают химическую окисляемость, если при определении используют химический окислитель, и биохимическую, когда роль окислительного агента выполняют аэробные бактерии; этот показатель – биохимическая потребность в кислороде (БПК). В свою очередь, химическая окисляемость может быть перманганатной (окислитель $KMnO_4$), бихроматной (окислитель $K_2Cr_2O_7$) и иодатной (окислитель KJO_3). Результаты определения окисляемости независимо от вида окислителя выражают в мг/л O_2. Бихроматную и иодатную окисляемость называют химической потребностью в кислороде, или ХПК.

Перманганатная окисляемость – кислородный эквивалент легкоокисляемых примесей. Основная ценность этого показателя – быстрота и простота определения. Перманганатная окисляемость используется с целью получения сравнительных данных. Тем не менее есть такие вещества, которые не окисляются $KMnO_4$. Только после определения ХПК можно достаточно полно оценить степень загрязненности воды органическими веществами.

БПК – кислородный эквивалент степени загрязненности сточных вод биохимически окисляемыми органическими веществами. БПК определяет

количество кислорода, необходимое для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в окислении органических соединений. БПК характеризует биохимически окисляемую часть органических загрязнений сточной воды, находящихся в первую очередь в растворенном и коллоидном состояниях, а также в виде взвеси.

Азот находится в сточных водах в виде органических и неор-ганических соединений. В городских сточных водах основную масть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы – фекалии, пищевые отходы. Неорганические соединения азота представлены восстановленными – NH_4^+ и NH_3 и окисленными формами NO_2^- и NO^-_3. Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины – продукта жизнедеятельности человека. Кроме того, процесс аммонификации белковых соединений также приводит к образованию соединений аммония. В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах, как правило, отсутствует. Нитриты и нитраты восстанавливаются группой денитрифицирующих бактерий до молекулярного азота. Окисленные формы азота могут появиться в сточной воде лишь после биологической очистки.

Источником соединений *фосфора* в сточных водах являются физиологические выделения людей, отходы хозяйственной деятельности человека и некоторые виды производственных сточных вод. Концентрации азота и фосфора в сточных водах – важнейшие показатели санитарно-химического анализа, имеющие значение для биологической очистки. Азот и фосфор – необходимые компоненты состава бактериальных клеток. Их называют биогенными элементами. При отсутствии азота и фосфора процесс биологической очистки невозможен.

Хлориды и сульфаты – показатели, концентрация которых влияет на общее солесодержание.

В группу тяжелых металлов и других токсичных элементов входит большое число элементов, которое по мере накопления знаний о процессах очистки все более возрастает. К токсичным тяжелым металлам относят: железо, никель, медь, свинец, цинк, кобальт, кадмий, хром, ртуть; к токсичным элементам, не являющимся тяжелыми металлами, – мышьяк, сурьму, бор, алюминий и т.д. Источник тяжелых металлов – производственные сточные воды машиностроительных заводов, предприятий электронной, приборостроительной и других отраслей промышленности. В сточных водах тяжелые металлы содержатся в виде ионов и комплексов с неорганическими и органическими веществами.

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) – органические соединения, состоящие из гидрофобной и гидрофильной частей, обусловливающих растворение этих веществ в маслах и в воде. Примерно 75%

общего количества производимых СПАВ приходится на долю анионоактивных веществ, второе место по выпуску и использованию занимают неионогенные соединения. В городских сточных водах определяют СПАВ этих двух типов.

Нефтепродукты – неполярные и малополярные соединения, экстрагируемые гексаном. Концентрация нефтепродуктов в водоемах строго нормируется; и поскольку на городских очистных сооружениях степень их задержания не превышает 85%, в поступающей на станцию сточной воде также ограничивается содержанием нефтепродуктов. Растворенный кислород в поступающих на очистные сооружения сточных водах отсутствует. В аэробных процессах концентрация кислорода должна быть не менее 2 мг/л.

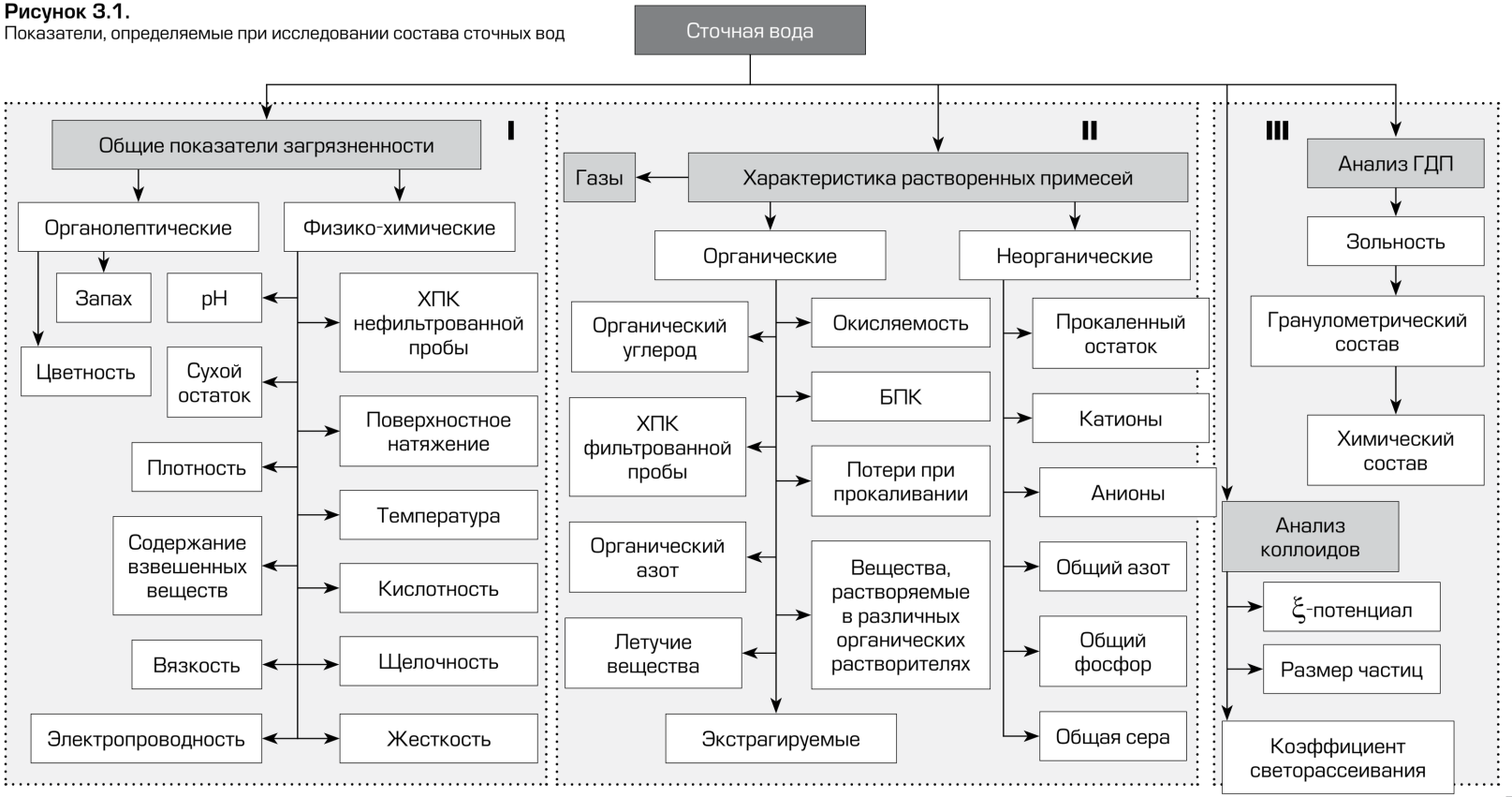
Санитарно-бактериологические показатели включают определение общего числа аэробных сапрофитов, бактерий группы кишечной палочки и анализ на яйца гельминтов. Микробное число оценивает общую обсемененность сточных вод микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органическими веществами – источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах 10^6-10^8, другие показатели определяемые при исследовании состава сточных вод показаны на *рисунке 3.1*.

3.3. Основные положения правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами

Правильный учет самоочищающей способности водоема позволяет экономично и обосновано запроектировать очистные сооружения, на которых сточная вода очищается до требуемой степени. Расчет необходимой степени очистки сточных вод, спускаемых в водоем, проводиться по следующим показателям: по количеству взвешенных веществ, потреблению растворенного кислорода, допустимой величине БПК смеси речных и сточных вод, изменению величины активной реакции воды водоема, а также по предельно допустимым концентрациям токсичных примесей и других вредных веществ.

В Казахстане принята система нормирования качества воды на основе предельно-допустимых концентраций вредных загрязнений, которые не оказывают вредного действия на организм человека и состояние водоема в целом. Исходя из ПДК, назначают комплекс технологических и санитарно-технических мероприятий для предупреждения загрязнения водоема при проектировании и реконструкции промышленных предприятий, а также рассчитываются и устанавливаются нормативы предельно-допустимых стоков (ПДС), которые при поступлении в водоемы не создают уровень загрязнения превышающий ПДК.

Рисунок 3.1.
Показатели, определяемые при исследовании состава сточных вод



Приемниками сточных вод в основном служат водоемы. Сточные воды перед сбросом необходимо частично или полностью очистить. Как известно, в воде водоема содержится определенный запас кислорода, который может быть частично использован для окисления органического вещества, поступающего в водоем совместно со сточной водой. Водоем таким образом, обладает некоторой самоочищающей способностью, т.е. в нем под воздействием микроорганизмов-минерализаторов могут окислятся органические вещества, но при этом содержание растворенного кислорода в воде будет падать. Следовательно, степень очистки сточных вод на очистных сооружениях перед сбросом их в водоем можно снизить.

Стационарный объем различных видов природных вод не дает полного представления о водных ресурсах, которыми может располагать человечество. Все потребности человека в воде удовлетворяются запасами пресных вод, включая реки, озера и подземные воды, суммарный объем которых составляет всего 0,3% объема гидросферы. Кажущаяся неисчерпаемость этих вод связана с весьма интенсивным непрерывным возобновлением пресных вод в процессе естественного круговорота. Так, объем речных вод возобновляется в среднем каждые 12 суток, или более 32 раз в течение года. Казалось бы, резерв неиспользуемых пресных вод велик, беспокойство об истощении водных ресурсов преждевременно. Однако объем чистых природных вод, загрязняемых сточными водами, достигает 5500 км^3 (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Расход воды на хозяйственные нужды (км^3)

Вид водоснабжения	Водозабор из источника	Безвозвратный расход	Сброс сточных вод	Объем чистых вод, загрязненных сточными водами
Хозяйственно–питьевое	98	56	42	600
Животноводство	40	30	10	400
Промышленность	200	40	160	4000
Энергетика	225	15	210	600

Если учесть, что для хозяйственно-питьевого водоснабжения вода рек, озер и водохранилищ, в которые сбрасываются сточные воды, непригодна, то именно в загрязнении сточными водами кроется одна из причин истощения водных ресурсов.

Даже по усредненной оценке реки на 40% состоят из сточных вод. Поскольку же речные ресурсы распределены в мире неравномерно, в регионах с развитыми промышленностью и сельским хозяйством речная вода успевает многократно прокрутиться через антропогенный цикл использования.

Прежде всего, определимся с пониманием некоторых терминов. С точки зрения возможного загрязнения поверхностных водоемов, опасность представляет не сам процесс, а его количественное выражение. *Загрязнение* поверхностных или подземных вод – это непосредственное и косвенное воздействие, изменяющее состав или свойства воды. Оно ограничивает или может ограничить ее использование для целей, которым вода удовлетворяла в природном состоянии.

Охрана окружающей природной среды – это комплекс правовых, организационных и научно обоснованных мероприятий, ограждающих ее от загрязнения, истощения и неоправданных потерь.

Существует два аспекта комплексного использования водных ресурсов. Природный аспект определяет взаимосвязь и взаимодействие водных ресурсов с почвой, лесами и другими компонентами природы. Хозяйственный же аспект предусматривает удовлетворение и взаимную увязку требований различных отраслей народного хозяйства и устанавливает очередность и размеры удовлетворения в воде.

Основными водоохранными мероприятиями в настоящее время являются:

- нормирование водопотребления и водоотведения;
- совершенствование производства и соблюдение технологической дисциплины;
- организация оборотного водоснабжения и бессточных производств и циклов;
- создание мало- и безотходных производств;
- максимальная утилизация ценных веществ;
- рациональное размещение производительных сил;
- экологический аудит действующих предприятий и технологий.

Отрицательные социально-экономические аспекты загрязнения окружающей среды и водного бассейна сводятся к следующему:

- общее ухудшение качества жизни (ухудшение здоровья, условий труда и т.п.);
- потери рабочего времени (например, по болезни), то есть, снижение эффективности использования трудовых ресурсов;
- уменьшение народно-хозяйственной ценности трудовых ресурсов;
- интенсификация коррозионных процессов.

Как правило, нарушение экологического равновесия происходит в результате вмешательства человека. Поверхностные воды считаются загрязненными, если их состав или свойства изменились под влиянием прямой или косвенной, производственной или бытовой деятельности населения, в результате которой воды стали непригодными или малопригодными для одного или нескольких видов водопользования.

Санитарное состояние водоема – это совокупность физико-химических, микро- и гидробиологических показателей, характеризующих водоем с точки зрения возможности его использования в коммунальном водоснабжении. Вода считается пригодной для данного вида водопользования, если ни по одному из показателей состава или свойства воды качество ее после сброса стоков не нарушено.

Основными документами, которые регламентируют условия выпусков сточных вод в водоемы, являются:

- Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами;
- Правила санитарной охраны прибрежных районов морей;
- Санитарные правила для речных и озерных судов.

Все эти документы исходят из следующих основных положений:

- ограничением для сброса сточных вод в водоемы является не их качество, а качество воды в расчетном пункте водопользования;
- все нормативные показатели различаются в зависимости от вида водопользования и относятся к составу воды в том же расчетном пункте;
- критическими условиями являются наихудшие условия возможного разбавления сточных вод в водоеме у мест водопользования;
- допускается учет процессов самоочищения воды, если этот процесс и его динамика хорошо изучены в конкретных условиях.

В соответствии с нормативными документами в водные объекты запрещается сбрасывать сточные воды:

- которые могут быть устранены путем усовершенствования технологии, максимального использования в системах оборотного водоснабжения или путем устройства бессточных производств;
- содержащие ценные отходы или вещества, которые могут быть утилизированы;
- содержащие сырье, реагенты, продукты и полупродукты в количествах, превышающих установленные нормативы технологических потерь;

- содержащие вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК);
- содержащие кубовые остатки и технологические отходы.

Требования к условиям выпуска сточных вод распространяются:

а) на существующие выпуски всех видов производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод населенных мест, отдельно стоящих жилых и общественных зданий, коммунальных, лечебных, транспортных объектов, промышленных предприятий, в том числе шахтных вод, сбросных вод от водного охлаждения, нефтедобычи, сбросных вод с орошаемых и осушаемых территорий и других сточных вод любых объектов независимо от их ведомственной подчиненности;

б) на все проектируемые выпуски сточных вод вновь строящихся, проектируемых и расширяемых предприятий и учреждений. Согласно Правилам охраны поверхностных вод все водные объекты подразделяются на две категории: водные объекты для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и объекты для рыбохозяйственных целей. В свою очередь, первая категория подразделяется на объекты, которые используются для централизованного и нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и водоснабжения пищевых предприятий и объекты, которые используются для купания, спорта и отдыха. Вторая категория подразделяется на объекты, которые используются для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду, и объекты для всех других видов рыбохозяйственной деятельности.

Приведенные в Правилах нормативы относятся к створам, расположенным на проточных водоемах на расстоянии одного километра выше ближайшего по течению пункта водопользования, а на непроточных водоемах и водохранилищах – к створам, расположенным на расстоянии одного километра во все стороны от пункта водопользования.

Нормативные показатели состоят из общих показателей и показателей для вредных и ядовитых веществ. К общим показателям относятся: взвешенные вещества, плавающие примеси, запахи, привкусы, окраска, температура, pH, минеральный состав, растворенный кислород, биологическая потребность в кислороде (БПК), возбудители заболеваний. Вредные вещества тоже входят в общие показатели, но поскольку они очень разнообразны, то для каждого из таких веществ установлены ПДК.

ПДК устанавливается по тому признаку вредного воздействия (влияние на здоровье человека, на органолептические свойства воды или на общесанитарное состояние водоема), который характеризуется наименьшей пороговой или подпороговой концентрацией. То есть, вредные вещества

нормируются по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ). Под ЛПВ понимается наиболее вероятное неблагоприятное воздействие наименьших концентраций вредного вещества. ЛПВ показывает, в каком направлении прежде всего проявится неблагоприятное воздействие.

Например, если в результате проведенных исследований вещества обнаружен порог влияния на санитарное состояние водоема на уровне 2 мг/л, органолептический порог на уровне 0,5 мг/л, а не действующая концентрация по санитарно-токсикологическому признаку – на уровне 0,01 мг/л, то ЛПВ для этого вещества будет санитарно-токсикологический. То есть, это вещество прежде всего опасно по влиянию на здоровье человека, и эта опасность проявится раньше и при меньших концентрациях, чем может проявиться вредное влияние на санитарный режим водоема и его органолептические свойства.

По ЛПВ все вредные вещества для водоемов первой категории разделены на три группы:

- вещества, имеющие санитарно-токсикологический ЛПВ;
- вещества, имеющие общесанитарный ЛПВ;
- вещества, имеющие органолептический ЛПВ.

Для рыбохозяйственных водоемов загрязняющие вещества, кроме перечисленных ЛПВ, могут иметь дополнительно рыбохозяйственный и токсикологический.

Действующие правила требуют соблюдения следующего условия для спуска в водоемы сточных вод с вредными веществами:

$$\sum_{1}^{i} \frac{C_{ф}^{1}}{C_{доп}^{i}} \le 1 \qquad (3.3)$$

где $C_{ф}^{\ i}$ – фактическая или расчетная концентрация вещества в расчетном створе,
$C_{доп}^{i}$ – ПДК данного вещества.

То есть, суммарная доля концентраций веществ с одинаковым ЛПВ не должна превышать единицы. Для комбинаций веществ с различным ЛПВ условие сохраняется то же самое, но сложение идет по группам с одним ЛПВ. В итоге это приводит к тому, что для каждого отдельного загрязнения $C_{ф}^{\ i}$ будет снижаться:

$$C_{ф} \le C_{доп}\left(1 - \sum_{1}^{i} \frac{C_{ф}^{1}}{C_{доп}^{i}}\right) \qquad (3.4)$$

Из формулы следует, что каждое вещество одной группы ЛПВ может присутствовать в расчетном створе в концентрации, не превышающей концентрацию правой части неравенства.

Ниже приводятся допустимые нормы состава и свойств воды водоемов у пунктов питьевого водопользования (таблица 3.3).

Показатели состава и свойства воды	Для хозяйственно–питьевого водоснабжения	Для купания, спорта, а также для водоемов в черте населенных мест
1. Взвешенные вещества	0,25 мг/л	0,75 мг/л
2. Плавающие примеси	Не должно быть	Не должно быть
3. Температура	Летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна повышаться более, чем на 3ОС по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца за последние 10 лет	Летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна повышаться более, чем на 3ОС по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца за последние 10 лет
4. Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике 20 см	Не должна обнаруживаться в столбике 1 см
5. Реакция	Пределы pH 6,5–8,5	Пределы pH 6,5–8,5
6. Минеральный состав	Не должна превышать по сухому остатку 1000 м г/л, в т.ч.: хлоридов 350 мг/л, сульфатов 500 мг/л	
7. Растворенный кислород	Не менее 4 мг/л	Не менее 4 мг/л
8. Биохимическая потребность в кислороде	Не более 3 мг/л	Не более 6 мг/л
9. Возбудители заболеваний	Не должна содержать. Необходима очистка до коли–индекса не более 1000	Не должна содержать
10. Ядовитые вещества	Не должна содержать	Не должна содержать

Таблица 3.3. Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Условия спуска сточных вод в водоемы строго регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и «Правилами санитарной охраны прибрежных районов морей». Все водоемы делятся на использование для питьевого и культурно-бытового назначения и использование в рыбохозяйственных целях.

Основные допустимые изменения состава воды в водных объектах после выпуска в них очищенных сточных вод в *таблице 3.4*.

Вредные и ядовитые вещества разнообразны по своему составу, в связи с чем их нормируют по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПД), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества (табл.3.5).

Таблица 3.4.
Основные допустимые изменения состава воды в водных объектах после выпуска в них очищенных сточных вод

Показатель состава и свойств воды	Требования к составу и свойствам воды в водном объекте по категориям водоиспользования и назначению			
	Хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое		Рыбохозяйственное	
	I категория	II категория	I категория	II категория
Температура	Допускается увеличение не более чем на:			
	3°С по отношению к среднемесячной температуре самого жаркого месяца		5°С по отношению к естественной температуре воды	
Взвешенные вещества, мг/дм^3	Допускается увеличение не более чем на:			
	0,25	0,75	0,25	0,75
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/дм^3 природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания на 5%			
Водородный показатель	Не должен выходить за пределы 6,5–8,5			
Минеральный состав	Сухой остаток должен быть < 1000 мг/дм^3		Не нормируется	
Наличие растворенного кислорода	Должно быть не менее 4 мг/дм^3		> 6 мг/дм^3	Зимой подо льдом > 4 мг/дм^3, летом > 6 мг/дм^3
БПКполн при температуре 20°С, мг/дм^3	Не должна превышать			
	3	6	3 (если в зимний период содержание кислорода в воде снижается для водоемов I категории до 6 мг/дм^3, II категории до 4 мг/дм^3, то разрешается только сброс воды, не влияющей на БПК)	

Вещество	Норматив, мг/л	Вещество	Норматив, мг/л
По санитарно-токсикологическому лимитирующему показателю вредности			
Анилин	0,1	Аммиак (по азоту)	2,0
Бензол	0,5	Кадмий	0,01
Бериллий	0,0002	Капролактан	1,0
Ванадий	0,1	Медь	0,1
Вольфрам	0,1	Никель	0,1
ДДТ (дуст)	0,1	Сульфиды	Отсутствие
Молибден	0,5	Титан	0,1
Мышьяк	0,05	Хлор активный	Отсутствие
Нафтол	0,4	Цинк	1,0
Нитраты (по азоту)	10,0	По органолептическому лимитирующему показателю вредности	
Роданиды	0,1	Барий	4,0
Ртуть	0,005	Бензин	0,1
Свинец	0,1	Железо	0,5
Селен	0,001	Керосин	0,1
Стронций	2,0	Нефть многосернистая	0,1
Сурьма	0,05	Нефть прочая	0,3
Теллур	0,01	Пикриновая кислота	0,5
Фтор (в соединениях)	1,5	сероуглерод	1,0
Хлорбензол	0,02	Фенол	0,001
Четыреххлористый углерод	0,3	Хром (Cr^{+6})	0,1
		Хром (Cr^{+3})	0,5
		Этилен	0,5

Таблица 3.5. Предельно допустимые концентрации вредных веществ

При нормировании качества воды в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения используют три вида ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. Для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными, используют еще два вида ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный (табл.3.6).

Оптимальная температура воды, идущей для питья, должна быть не выше 11°С и не ниже 7°С. Вода с высокой температурой содержит в себе мало растворимых газов, поэтому она плохо утоляет жажду и неприятна на вкус. Температура сточных вод по нормам СниП 2.04.03-85 должна быть не менее 6°С и не более 30°С, так как она влияет на жизнедеятельность микроорганизмов, ведущих биологический процесс очистки. При температуре ниже 6°С биологическая очистка практически прекращается.

Вещество	ПДК, мг/л
Аммиак	0,1
Аммония соли	5,0
Кадмий	0,005
Кобальт	0,01
Магний	50,0
Медь	0,01
Мышьяк	0,05
Никель	0,01
Нефть и нефтепродукты в растворенном и эмульгированном состоянии	0,05
Свинец	0,1
Сероуглерод	1,0
Фенолы	0,001
Хлор свободный	Отсутствие
Цианиды	0,05

Таблица 3.6. Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воде рыбохозяйственных водоемов

Запах и вкус воды зависит от температуры растворенных в воде газов и от химического состава примесей. Интенсивность запаха и привкуса определяют по пятибалльной системе (табл.3.7).

Интенсивность запаха	Балл
Никакого: отсутствие ощутимого запаха	0
Очень слабый: обнаруживается опытным исследователем	1
Слабый: не привлекает внимания потребителя	2
Заметный: легко обнаруживается, вода расценивается как некачественная	3
Отчетливый: обращает на себя внимание, делает воду непригодной для питья	4
Очень сильный: запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья	5

Таблица 3.7. Оценка интенсивности запаха в баллах

Качество и интенсивность вкуса и привкуса определяют органолептический. Различают четыре вида вкуса: соленный, горький, сладкий и кислый. Остальные виды вкусовых ощущений называют привкусами.

Интенсивность вкуса и привкуса определяют по пятибалльной системе так же, как и запах.

Вкус и запах воды могут изменяться под влиянием поступающих в водоем сточных вод. Например, фенол содержащийся в стоках, придает воде вкус и запах карболки.

Природные воды часто бывают мутными из-за присутствия в них взвешенных частиц глины, песка, ила, органических взвесей. Сточные воды могут усилить мутность воды. Поэтому определяют прозрачность воды. Чистая вода, взятая в малом объеме, бесцветна. Иные оттенки свидетельствуют о наличии в воде различных растворенных и взвешенных примесей. Причиной, обуславливающей изменение воды, могут быть коллоидные соединения железа, взвешенные и окрашенные вещества отходов производства и массовое развитие водорослей.

Поступая в водоемы, вредные вещества могут накапливаться и их концентрация, постоянно возрастая, может достигнуть критических значений. Поэтому важную роль играет самоочищение воды водоемов. Если бы не эта помощь природы, то несмотря на все применяемые меры кумулятивная способность вредных веществ давно привела бы к гибели водоемов.

3.4. Расчеты выпусков и степени очистки сточных вод

Лимиты водоотведения устанавливаются на основе расчетов предельно допустимого сброса (ПДС). Под ПДС понимается масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения качества воды в расчетном створе.

$$ПДС = qS_{ст} \qquad (3.5)$$

где q – наибольший среднечасовой расход стоков, м^3/ч;
$S_{ст}$ – концентрация загрязнений, г/м^3.

В конкретном случае при установлении лимита отведения сточных вод в водный объект и для прогнозирования степени загрязнения водного объекта ниже по течению проектируемого выпуска расчет величины ПДС производится на основе уравнения баланса, учитывающего фоновую концентрацию, гидрологические, гидравлические и гидродинамические особенности водного объекта.

Расчет ПДС проводится по наибольшим среднечасовым расходам стоков фактического периода спуска стоков. Концентрация $S_{ст}$, необходимая для расчета ПДС при сбросе сточных вод в черте населенного пункта, принимается по величине не более ПДК, соответствующей требованиям, установленным к составу и свойствам воды водных объектов в местах водопользования.

При расчетах степени очистки сточных вод полагают, что известна кратность разбавления n, характеризующая интенсивность разбавления стоков водой водоема. Для проточных водоемов эта величина может определяться через расходы вод или по концентрациям отдельных загрязнений:

$$n = \frac{\alpha Q + Q_0}{Q_0} \qquad (3.6)$$

где Qo – расход сточных вод; Q – расход воды водоема;
α – коэффициент, зависящий от гидравлических условий смешения.

$$n = \frac{C_0 - C_в}{C - C_в} \qquad (3.7)$$

где $C_о$ – концентрация загрязнения в очищенных стоках;
$C_в$ – концентрация загрязнения в воде водоема до выпуска стоков
(фоновая концентрация); C – концентрация загрязнения в расчетном створе.

Другими словами, – это отношение избыточных концентраций загрязнения в месте выпуска стоков к аналогичным концентрациям в рассматриваемом сечении.

Для непроточных водоемов используется метод Руффеля и Лапшева, который применим для рассеивающих и сосредоточенных выпусков при скорости истечения стоков более 2 м/с. Предполагается, что выпуск находится в удалении от берега, а глубина в месте выпуска более 30 диаметров выпускного отверстия. Наименьшее разбавление на расстоянии

$$n = A\,(0{,}21\,L/d_o)^{ps}, \qquad (3.8)$$

где A – параметр, определяющий разбавление при рассеивающем выпуске
(при сосредоточенном $A = 1$); L – расстояние от выпуска до расчетного створа;
p – параметр, зависящий от степени проточности водоема и нагрузки на него
по стокам; s – параметр, определяемый относительной глубиной водоема.

Если известна скорость течения в водоеме, то

$$p = V_n\,(0{,}000015\,V_0 + V_n), \qquad (3.9)$$

где V_n –скорость течения; V_o – скорость истечения стоков.

Величина S зависит от глубины H в месте выпуска:

$$S = \frac{06325H}{360 + (V_n / V_0)^{10^s}} + 0{,}875 \qquad (3.10)$$

При определении возможности спуска сточных вод проектируемого предприятия в водоем, прежде всего, рассчитывают степень разбавления сточных вод речной водой. Разбавления сточных вод – это процесс снижения концентраций загрязняющих веществ в водотоках и водоемах, проте-

кающий вследствие перемешивания сточных вод с природными водами. Интенсивность процесса разбавления качественно характеризуется степенью разбавления, которая определяется по формуле:

$$n = \frac{\gamma Q + q}{q} \qquad (3.11)$$

где: n – степень разбавления сточных вод водой реки; Q – расход реки, м^3/с; q – расчетный расход сточных вод, м^3/с; γ – коэффициент смешения.

Коэффициент смещения всегда меньше единицы. Так как влияние сточных вод оценивается у ближайшего пункта водопользования, у этого пункта и надо определять степень разбавления. Расход воды реки является геометрической характеристикой. Он определяется опытным путем соответствующими гидрогеологическими организациями. Поскольку реки имеют не одинаковый сток, как по годам, так и в течении года, то для расчетов берут наихудшие условия, т.е. наименьший среднемесячный расход при 95%-ной обеспеченности. При 95%-ной обеспеченности годового стока, маловодные годы на реке случаются один раз в 20 лет.

При проектировании, среднемесячный расход реки и коэффициент смещения берут из данных гидрометрической службы, а расход сточных вод определяется расчетным путем или по аналогии с действующим предприятием подобного профиля.

После определения степени разбавления сточных вод нужно рассмотреть вопрос возможного ухудшения качества воды в реке или в другом водоеме в результате сброса туда сточных вод.

Нормативные показатели качества воды зависит от наличия взвешенных веществ, плавающих веществ, привкуса, окраски, температуры, значения pH, минерального состава, растворенного кислорода, БПК, возбудителей заболеваний, ядовитых и вредных веществ.

3.4.1. Определение степени очистки сточных вод от взвешенных веществ

Необходимая степень очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ определяется по формуле:

$$Э_{взв} = \frac{C_{ст}^{взв} - C_0^{взв}}{C_{ст}^{взв}} * 100\% \qquad (3.12)$$

где $Э_{взв}$ – искомая степень очистки,%; $C_{ст}$ – исходная концентрация взвешенных веществ в сточных водах до очистки, мг/л; C_o – расчетная концентрация взвешенных веществ в очищенных сточных водоемах перед сбросом в водоем, мг/л.

Расчетную концентрацию взвешенных веществ в очищенных сточных водах перед сбросом их в водоем определяют по формуле:

$$C_0 = C_в - C_{доп} \qquad (3.13)$$

где $C_в$ – концентрация взвешенных веществ в воде реки до сброса сточных вод, мг/л; $C_{доп}$ – допустимое увеличение содержания взвешенных веществ в реке после сброса сточных вод, мг/л, для водоемов в хозяйственно-питьевого водоснабжения пищевых предприятий $C_{доп}$ = 0,25 мг/л, а для рыбохозяйственных водоемов и водоемов культурно-бытового пользования $C_{доп}$ = 0,75 мг/л.

3.4.2. Расчет степень очистки сточных вод по БПК смеси речной воды и сточных вод

При поступлении сточных вод в реки и водоемы снижение концентрации органических веществ, выраженное в БПК, происходит вследствие не только разбавления, но и самоочищения.

Концентрацию сточных вод, при которой БПК воды реки в ближайшем пункте водопользования ниже спуска сточных вод будет не больше принятых нормативов, находят по формуле:

$$L_0 = \frac{n-1}{10^{-K_1 T}}(L_{доп} - L_в) + \frac{L_{доп}}{10^{-K_1 T}} \qquad (3.14)$$

где $L_{доп}$ – предельно допустимое значение БПК смеси сточных вод и речной воды, равное 4 мг/л; $L_в$ – БПК речной воды до сброса сточных вод, мг/л; K_1 – Константа скорости потребления кислорода сточными водами; T – Время протекания воды от места сброса до расчетного створа, сут.

При решении уравнения значения величины $10^{-K_1 T}$ вычислить сложно, поэтому составлены *таблицы 2.8* и *2.9*, в которых приняты пределы K_1 и T, которые охватывают все случаи, имеющие практическое значение.

Если расчетное значение L_o больше фактического значения БПК сточных вод $L_{ст}$, подлежащих спуску в реку, то биологическая очистка сточных вод не требуется.

Если же L_o меньше БПК сточных вод $L_{ст}$, то биологическая очистка перед спуском в водоем обязательна до получения расчетного значения,

Необходимая степень очистки сточных вод и речной воды по БПК определяется в этом случае по формуле:

$$Э_{БПК} = \frac{L_{ст} - L_0}{L_{ст}} * 100\% \qquad (3.15)$$

где $L_{ст}$ – полная биохимическая потребность сточной воды в кислороде, мг/л.

При расчете кислородного режима водоема исходят из поглощения сточными водами растворенного кислорода речной воды в месте их спуска. Если количество содержащегося в речной воде растворенного кислорода не ниже 4 мг/л в течении первых двух суток, то снижения не произойдет и в дальнейшем. Формула для определения расчетной концентрации растворенного кислорода сточных вод имеет следующий вид:

$$C_P = \frac{n-1}{0,4}(C_B - 0,4C_{БПК} - C_Д)\frac{C_Д}{0,4} \qquad (3.16)$$

где C_P – расчетная концентрация растворенного кислорода сточных вод, мг/л; C_B – содержание растворенного кислорода в речной воде до сброса сточных вод, мг л; $C_{БПК}$ – биологическая потребность речной воды в кислороде, мг л; $C_Д$ – предельно-допустимая концентрация растворенного кислорода, которая должна быть в расчетном створе сброса сточных вод, 4 мг л; 0,4 – коэффициент для пересчета полного потребления кислорода в двухсуточное.

°С	K_1	°С	K_1	°С	K_1
0	0,04	15	0,08	24	0,12
5	0,05	18	0,09	26	0,13
9	0,06	20	0,1	28	0,14
12	0,07	22	0,11	29	0,15

Таблица 3.8. Значение K_1 при различных температурах речной воды

Таблица 3.9. Значение величины $10^{-K_1 T}$ при переменных K_1 и T

K_1	T, сут									
	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
0,04	0,981	0,955	0,912	0,87 1	0,83 2	0,79 4	0,759	0,692	0,631	0,57 5
0,06	0,966	0,933	0,87 1	0,813	0,76 9	0,70 8	0,661	0,57 5	0,50 1	0,487
0,08	0,955	0,91 2	0,83 2	0,76 9	0,692	0,63 1	0,557	0,48 9	0,40 8	0,331
0,11	0,944	0,89 1	0,794	0,70 8	0,63 1	0,57 2	0,50	0,39 8	0,31 6	0,25 1
0,12	0,933	0,87 1	0,75 9	0,661	0,57 5	0,50 1	0,436	0,33 1	0,25 1	0,19 1
0,14	0,91 2	0,85 1	0,72 4	0,617	0,52 5	0,447	0,332	0,275	0,20 0	0,14 5
0,16	0,912	0,83 2	0,692	0,57 5	0,47 9	0,39 8	0,331	0,19 9	0,15 9	0,11 0
0,18	0,903	0,81 3	0,66 1	0,537	0,437	0,355	0,288	0,19 1	0,12 6	0,08 3
0,20	0,891	0,79 4	0,631	0,50 1	0,393	0,31 6	0,25	0,16 8	0,10 0	0,06 3
0,22	0,88 1	0,77 0	0,60 3	0,47 8	0,36 3	0,28 3	0,219	0,132	0,07 9	0,04 9
0,24	0,87 1	0,75 9	0,575	0,437	0,35 1	0,25 1	0,191	0,11 0	0,063	0,036
0,26	0,86 1	0,74 1	0,55 0	0,407	0,302	0,22 4	0,16	0,09 1	0,05 0	0,02 5
0,28	0,85 1	0,72 4	0,52 5	0,38 0	0,27 5	0,19 9	0,145	0,07 6	0,03 6	0,02 1
0,30	0,84 1	0,70 8	0,50 1	0,33 5	0,25 1	0,17 8	0,127	0,06 3	0,032	0,01 0
0,40	0,79 4	0,63 1	0,39 8	0,251	0,15 8	0,10 0	0,063	0,04 9	0,01 0	0,00 4
0,50	0,75 0	0,565	0,31 6	0,17 8	0,10 0	0,05 6	0,032	0,03 2	0,00 3	0,00 1

Если расчетная концентрация меньше той, которая характерна для проектируемых к спуску сточных вод, т.е. меньше L_{CT}, то они должны быть очищены. Тогда необходимую степень очистки определяют по формуле:

$$Э_{БПК} = \frac{L_{CT} - C_P}{L_{CT}} * 100\% \qquad (3.17)$$

Расчет кислородного режима сточных вод и необходимой степени их очистки по содержанию растворенного кислорода выполняют для определения загрязненности сточных вод органическими веществами.

3.4.3. Расчет степени очистки сточных вод по изменению pH

Согласно общим требованиям к составу и свойствам воды водоемов у пунктов культурно-бытового водопользования, реакция (pH) не должна выходить за пределы 6,5... 8,5.

Допустимую концентрацию кислоты в сточных водах находят по формуле:

$$C_{ДК} = (n - 1)X_к \qquad (3.18)$$

где $X_к$ – максимальное количество кислоты, которые может быть добавлено к 1 л речной воды, мг-экв/л (находят по графику Черкинского).

Необходимая степень очистки сточных вод от кислоты определяется по формуле:

$$Э_К = \frac{C_К - C_{ДК}}{C_К} * 100\% \qquad (3.19)$$

где $C_к$ – содержание кислоты в сточных водах, мг-экв/л

3.4.4. Температурный расчет сточных вод перед сбросом в водоем

Расчет производится с учетом санитарных требований: летняя температура речной воды не должна повышаться в результате спуска сточных вод более чем на 3°С.

Максимальную допустимую температуру сточных вод определяют по формуле:

$$t_{CT} = \left(\frac{\gamma Q}{q} + 1 \right) t_{ДОП} + t_{\max} \qquad (3.20)$$

где $t_{ДОП}$ – допустимое повышение температуры (3°С);
t_{max} – максимальная температура речной воды в наиболее теплый месяц до спуска сточных вод.

Сравниваем полученную величину с температуру сточных вод. Если температура сточных вод меньше полученной расчетной, то специальных мер по снижению температуры сточных вод принимать не нужно. Если температура сточных вод больше расчетной, то требуется охлаждение сточных вод перед сбросом их в водоем.

3.4.5. Расчет степени очистки сточных вод от вредных веществ

Если в сточных водах содержится несколько вредных веществ, то все компоненты, имеющиеся в сточных водах, разбиваются на группы с одинаковыми ЛПВ.

Например, в сточных водах присутствуют мышьяк, ртуть, свинец, никель, цинк. По *таблице 1.2* определяем, что мышьяк, ртуть и свинец относятся к группе веществ санитарно-токсикологического ЛПВ, а никель и цинк – к группе веществ общесанитарного ЛПВ.

Затем определяем сумму отношений концентраций веществ каждой группы в сточной воде к их предельно допустимым концентрациям:

$$\frac{C_{CT1}}{ПДК_1}+\frac{C_{CT2}}{ПДК_2}+...+\frac{C_{CTn}}{ПДК_n}=C_{CT} \qquad (3.21)$$

После этого подсчитаем сумму отношений концентраций этих веществ в воде водоема до спуска в него сточных вод к их ПДК:

$$\frac{C_{B1}}{ПДК_1}+\frac{C_{B2}}{ПДК_2}+...+\frac{C_{Bn}}{ПДК_n}=C_B \qquad (2.22)$$

И определяем необходимую степень очистки по формуле:

$$ЭВР=\left(1-\frac{(n-1)C_B}{C_{CT}}\right)100\% \qquad (3.23)$$

3.4.6. Условия спуска сточных вод в водоемы

Условия спуска сточных вод в водоемы определяются «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и «Правилами санитарной охраны прибрежных районов морей». В соответствии с этими правилами различают водоемы питьевого и культурно-бытового водопользования и водоемы, используемые для рыбохозяйственных целей.

Водоемы питьевого и культурно-бытового водопользования. Нормативы качества воды на используемых участках этих водоемов устанавливаются по двум видам водопользования: первый – для централизованного и нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также водоснабжения

предприятий пищевой промышленности, второй – для купания, спорта и отдыха населения. Ко второму виду водопользования относятся также участки водоемов, расположенные в черте населенных пунктов.

Установлены следующие нормативные показатели качества воды водоема.

Растворенный кислород. Количество растворенного в воде водоема кислорода после смешивания с ней сточных вод в любой период года в пробе, отобранной в 12 ч дня, не должно быть меньше 4 мг/л.

Биохимическая потребность в кислороде. Величина $БПК_{20}$ Для водоемов первого вида водопользования не должна превышать 3 мг/л, а для водоемов второго вида водопользования – 6 мг/л.

Взвешенные вещества. Содержание взвешенных веществ в воде водоема после спуска в него сточных вод не должно увеличиваться больше чем на 0,25 мг/л для водоемов первого вида водопользования и на 0,75 мг/л для водоемов второго вида водопользования.

Активная реакция воды. Активная реакция воды водоема (pH) после смешивания с ней сточных вод должна быть не ниже 6,5 и не выше 8,5.

Для воды водоемов установлены также нормативные показатели по окраске, наличию ядовитых веществ, плавающих примесей, возбудителей заболеваний, запахам и привкусам, минеральному составу и температуре. Ядовитые вещества не должны содержаться в концентрациях, которые могут оказать прямо или косвенно вредное воздействие на здоровье населения.

Рыбохозяйственные водоемы. Существуют два вида использования таких водоемов: первый – для воспроизводства и сохранения ценных видов рыб, второй – для всех других рыбохозяйственных целей.

Показатели качества воды рыбохозяйственных водоемов должны соответствовать нормативам, установленным для водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования. В то же время по некоторым показателям к воде рыбохозяйственных водоемов предъявляют более высокие требования. Зимой количество кислорода, растворенного в воде рыбохозяйственных водоемов первого вида использования, не должно быть меньше 6 мг/л, а растворенного в воде водоемов второго вида использования – 4 мг/л. Биохимическая потребность в кислороде $БПК_{полн}$ не должна превышать 3 мг/л.

Содержание в воде любых водоемов *радиоактивных веществ* у мест выпуска загрязненных ими сточных вод не должно превышать предельно допустимые концентрации, установленные Главной государственной санитарной инспекцией.

Необходимую степень очистки сточных вод определяют по количеству содержащихся в них взвешенных веществ, потреблению растворенного кислорода смесью сточных вод и вод водоема, допустимой величине $БПК_{доп}$ смеси вод водоема и сточных вод, изменению активной реакции воды водоема и по другим показателям с учетом самоочищающей способности водоема.

Под *самоочищающей способностью водоемов* понимают снижение концентрации загрязнений вследствие биохимических, химических и физических процессов, протекающих в водоеме.

3.5. Методы очистки сточных вод и состав очистных сооружений

3.5.1. Методы очистки сточных вод

Для обработки сточных вод применяют механическую, физико-химическую и биологическую очистку. Очищенную сточную жидкость перед спуском в водоем подвергают дезинфекции для уничтожения болезнетворных бактерий.

В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке, возможна последующая утилизация осадков.

Если по условиям сброса сточных вод в водоем, требуется более высокая степень очистки, то после сооружений полной биологической очистки сточных вод устраивают сооружения глубокой очистки. В соответствии с «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» сточные воды после очистки перед сбросом в водоем подвергают обеззараживанию с целью уничтожения патогенных микроорганизмов.

В результате **механической очистки** из сточной жидкости удаляются нерастворенные и частично коллоидные загрязнения. Крупные загрязнения (тряпки, бумага, остатки овощей и фруктов) задерживаются *решетками и сита*. Загрязнения минерального происхождения (песок, шлак и др.) улавливаются *песколовками*. Основная масса нерастворенных загрязнений органического происхождения задерживается *в отстойниках*. При этом частицы с удельным весом больше удельного веса сточной жидкости выпадают на дно, а частицы с меньшим удельным весом (специфические загрязнения: жиры, масла, нефть) всплывают, в зависимости от их характера применяют *жироловки, нефтеловушки, масло-* и *смолоуловители* и др. С помощью этих сооружений осуществляют очистку производственных сточных вод. Отстаивание основано на закономерностях осаждения твердых частиц в жидкости. При этом может осуществляться свободное

осаждение частиц, склонных к коагулированию в процессе осаждения и изменяющих при этом свою форму и размеры. Свободное осаждение наблюдается при концентрации частиц до 1% или 8 кг/м .

Для обработки производственных сточных вод применяют также *флотацию* вводя в сточную жидкость воздух и пенообразующие вещества (поверхностно-активные вещества, глинозем, животный клей и пр.). Всплывающие пузырьки воздуха и частицы пенообразующих веществ сорбируют загрязнения и поднимают их на поверхность жидкости в виде пены, которая непрерывно удаляется.

К сооружениям механической очистки относятся также *септики, двухъярусные отстойники* и *осветлители-перегниватели*, в которых осветляется жидкость и обрабатывается выпавший осадок.

Для удаления из производственных сточных вод взвешенных веществ большого удельного веса используют *гидроциклоны*.

При механической очистке задерживается не более 60% осаждающихся взвешенных веществ (обычно 30-50%).

Более высокий эффект достигается путем применения различных способов интенсификации. Простая аэрация улучшает работу первичных отстойников на 5-8% (по задержанию взвешенных веществ и снижению БПК). Эффект снижения загрязнении по взвешенным веществам при биокоагуляции повышается примерно на 30%, а по БПК на 35%. Эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках с преаэраторами повышается до 65-70%. $БПК_{20}$ осветлённой воды понижается примерно на 15%. Биокоагулятор может успешно работать не только на активном иле аэротенков, но и на биоплёнке после биофильтров. В таком биокоагуляторе с регенератором задерживается 60-70% взвешенных веществ, а $БПК_{20}$ снижается на 50-55%. Механическую очистку как самостоятельный метод применяют в тех случаях, когда освобожденную от загрязнений воду используют повторно в производстве или по местным и санитарным условиям её можно сбросить в водоем.

Физико–химические методы применяют главным образом для очистки производственных сточных вод, а очистку городских сточных вод, с учетом технико-экономических показателей, используют весьма редко.

К методам физико-химической очистки производственных сточных вод относятся: реагентная очистка, сорбция, экстракция, эвапорация, дегазация, ионный обмен, озонирование, электрофлотация, хлорирование, электродиализ и др.

Производственные сточные воды от технологических процессов очень часто содержат щелочи и кислоты. В большинстве кислых стоков содер-

жатся растворимые соли тяжелых цветных металлов, которые необходимо выделять из сточных вод.

С целью предупреждения коррозии материалов канализационных очистных сооружений, нарушения биохимических процессов в водоемах, а также осаждения из сточных вод солей тяжелых металлов кислые и щелочные стоки подвергают химической очистке.

Химическая очистка может применяться как самостоятельный метод перед подачей производственных сточных вод в систему оборотного водоснабжения, а также перед спуском их в водоемы. Иногда возникает задача удаления из сточных вод биогенных элементов – азота и фосфора, которые, попадая в водоем, способствуют усиленному развитию водной растительности. Азот удаляют физико-химическими и биологическими методами, фосфор обычно удаляют химическим осаждением с применением солей железа и алюминия или извести.

Применение химической очистки в ряде случаев целесообразно перед биологической или физико-химической очисткой. Основными методами физико-химической очистки производственных сточных вод являются нейтрализация и окисление.

Кислые и щелочные сточные воды перед сбросом их в промышленную канализацию или водоемы должны быть нейтрализованы до достижения величины pH, равной 6,5-8,5. При нейтрализации сточных вод допускается смешение кислых и щелочных стоков для их взаимонейтрализации.

Нейтрализация – химическая реакция между кислотой и основанием. Нейтральными считаются сточные воды, имеющие pH = 6,5-8,5. Нейтрализации подвергаются сточные воды с pH < 6,5 и pH > 8,5.

Большую опасность представляют кислые стоки, которых образуется гораздо больше, чем щелочных. При химической очистке применяют следующие способы нейтрализации:

- взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод;
- нейтрализация реагентами;
- фильтрация через нейтрализующие материалы.

Выбор способа нейтрализации зависит от многих факторов: вида и концентрации кислот загрязняющих промстоки, расхода и режима поступления отработанных вод на нейтрализацию, наличия реагентов, местных условий, в которых происходит очистка и т.д.

Режимы сброса сточных вод, содержащих кислоты и щелочи, как правило, различны. Кислые воды обычно сбрасываются в течение суток равномерно и имеют постоянную концентрацию, щелочные воды сбрасываются периодически по мере их накопления. В связи с этим для щелочных вод

часто устраивают регулирующий резервуар, объем которого определяется суточным поступлением щелочных вод. Из этого резервуара щелочные воды равномерно выпускают в камеру реакции, где происходит взаимная нейтрализация.

Биологические методы очистки основаны на окислении органических веществ микроорганизмами. Микроорганизмы обладают целым рядом особых свойств, из которых можно выделить для целей очистки: способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего существования. Различают биологическую очистку сточных вод в искусственно созданных условиях *(биологические фильтры и аэротенки)* и в условиях, близких к естественным *(поля фильтрации и биологические пруды)*.

Для снижения концентрации органических загрязнений биологически очищенных сточных вод можно применять сорбцию на активированных углях или химическое окисление озоном.

Глубокая очистка сточных вод может потребоваться, если в сточной воде после полной биологической очистки перед сбросом в водоем необходимо снизить концентрацию взвешенных веществ, величину показателей БПК, ХПК и др.

Для *дезинфекции* очищенных сточных вод чаше всего применяют *хлорирование*.

В настоящее время требования к степени очистки сточных вод повышаются, в связи с чем их подвергают доочистке. Для этого применяют *песчаные фильтры, контактные осветлители, микрофильтры, биологические пруды*.

При глубокой очистке сточных вод, главным образом, от взвешенных веществ используются фильтры различных конструкций. Для глубокой очистки от растворенных органических веществ применяют сорбционные, биосорбционные, озонаторные и другие установки. Глубокая очистка от соединений азота и фосфора может осуществляться физико-химическими и биологическими методами.

Дезинфекция сточных вод является заключительным этапом их обработки перед сбросом в водоем. Цель дезинфекции – уничтожение патогенных микроорганизмов, содержащихся в сточной воде. Наибольшее распространение получил способ дезинфекции путем введения в воду газообразного хлора. Возможно обеззараживание сточных вод озоном, используя бактерицидные ультрафиолетовые лампы.

Технология очистки сточных вод в настоящее время развивается в направлении интенсификации процессов биологической очистки, проведения

последовательно процессов биологической и физико-химической очистки в целях возможности повторного использования глубоко очищенных сточных вод на промышленных предприятиях.

Накапливаемые в очистных сооружениях большие массы осадка обрабатывают не только в септиках, двухъярусных отстойниках и осветлителях - перегнивателях, но и в *метантенках*. Септики, двухъ-ярусные отстойники и осветлители-перегниватели предназначены для осветления сточной жидкости и сбраживания осадка. Метантенки служат только для сбраживания осадка.

Обработка осадков сточных вод, образующихся в процессах очищенных, заключается в снижении их влажности и уменьшении объема, в процессе обработки осадки обеззараживаются.

Загрязнения, задерживаемые решетками, вывозят с территорий станций очистки, либо дробятся и обрабатываются совместно с осадками из отстойников. Песок из песколовок обезвоживается на песковых площадках а также вывозится или отмывается от органических загрязнений, подсушивается и используется в планировочных работах.

Осадок из первичных отстойников и уплотненный осадок из вторичных отстойников (активный ил, который обладает высокой влажностью, плохо отдает воду и опасен в санитарном отношении) направляются в метантенки – герметичные резервуары, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо метантенков применяется метод анаэробной стабилизации, сущность которой состоит в продувке осадка в течение длительного времени воздухом в сооружениях, устраиваемых по типу аэротенков. Сброженный в метантенках осадок хорошо отдает воду, менее опасен в санитарном отношении и содержит в значительных количествах азот, фосфор и калий, т.е. является хорошим удобрением.

Для обезвоживания его используют *иловые площадки, вакуум-фильтры, центрифуги, фильтр-прессы*. Нередко осадок, обезвоженный на вакуумфильтрах, подвергают *термической сушке*.

Некоторые виды осадков производственных сточных вод, содержа-щие вредные загрязнения, после предварительной подсушки сжигают. При сжигании полностью окисляются органические вещества осадков и образуется стерильный остаток – зола.

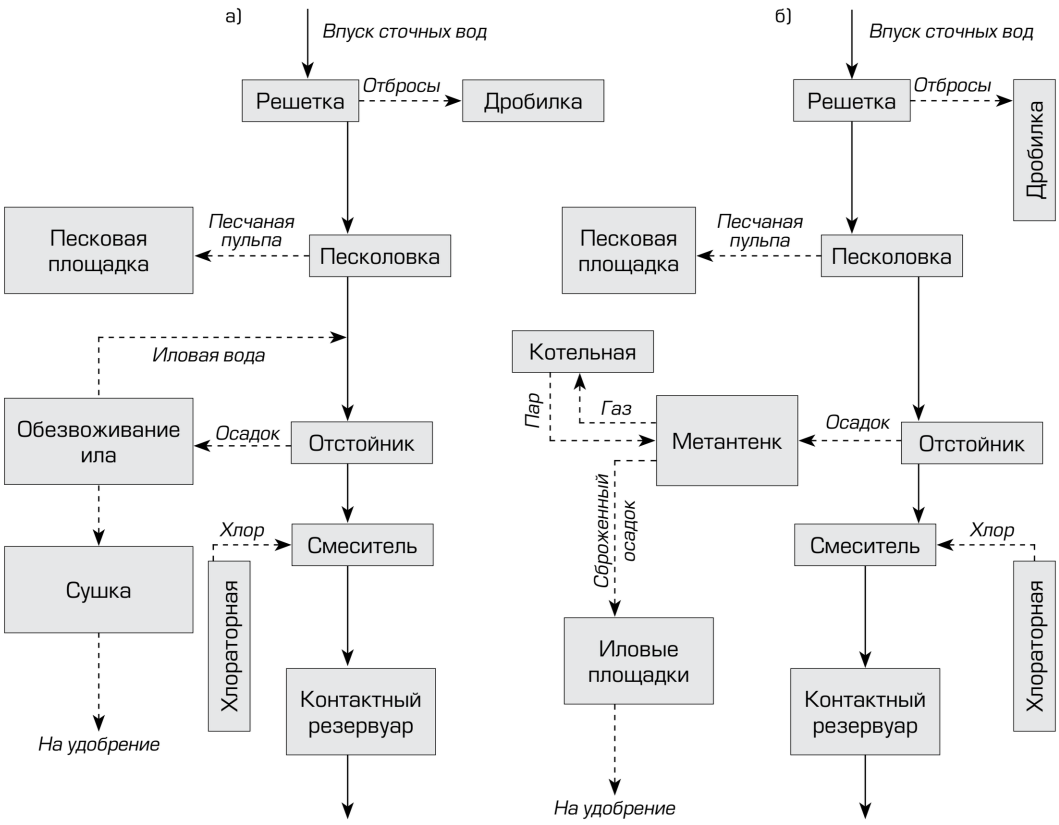
3.5.2. Технологические схемы очистки сточных вод

Сточные воды обычно очищают на сооружениях механической и биологической очистки, располагаемых последовательно. Сооружения механической очистки предназначены для задержания основной массы нераст-

вореных загрязнений. В сооружениях биологической очистки окисляются оставшиеся нерастворенные и растворенные органические загрязнения. Метод очистки и состав очистных сооружений выбирают в зависимости от требуемой степени очистки, состава загрязнений сточной жидкости, производительности очистной станции, грунтовых условий и мощности водоема с соответствующим технико-экономическим обоснованием.

На *рисунке 3.1* приведены схемы станции с механической очисткой сточных вод. Сточная жидкость проходит через решетку, предназначенную для задержания крупных загрязнений, песколовку, служащую для задержания загрязнений минерального происхождения (песок, шлак и пр.), отстойник, в котором осаждается основная масса органических загрязнений, смеситель, где происходит смешивание сточной жидкости с хлором, контактный резервуар, который служит для взаимодействия хлора со сточной жидкостью G целью ее дезинфекции, и затем сбрасывается в водоем. Осадок из отстойника направляется на обезвоживающие установки или в метантенк (см. рис. 3.1, б) для сбраживания. Сброженный осадок подсушивается на иловых площадках.

Рисунок 3.1. Схемы станции с механической очисткой сточных вод
а – вариант без метантенка;
б – вариант с метантенком



Для станций большой производительности целесообразна схема, приведенная на *рисунке 3.2*. Механическая очистка сточных вод производится на решетках, в песколовках, преаэраторах и отстойниках. Преаэраторы служат для предварительной аэрации сточной жидкости с целью улучшения условий последующего осветления ее в отстойниках. Биологическая очистка осуществляется в аэротенках.

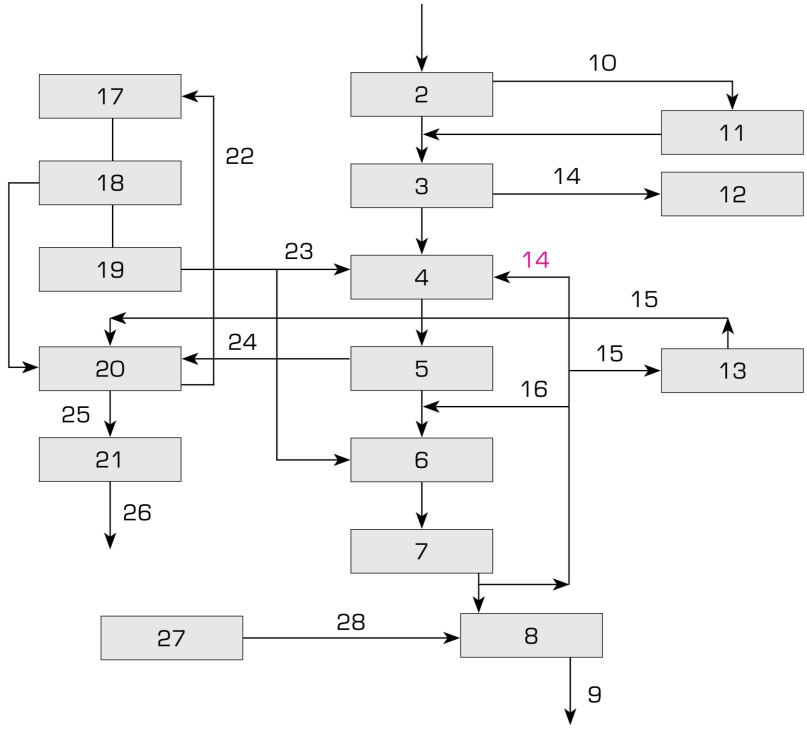


Рисунок 3.2. Схема станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках

1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – преаэраторы; 5 – первичные отстойники; 6 – аэротенки; 7 – вторичные отстойники; 8 – контактный резервуар; 9 – выпуск; 10 – отбросы; 11 – дробилки; 12 – песковые площадки; 13 – илоуплотнители; 14 – песок; 15 – избыточный активный ил; 16 – циркуляционный активный ил; 17 – газгольдеры; 18 – котельная; 19 – машинное здание; 20 – метантеки; 21 – цех механического обезвоживания сброженного осадка; 22 – газ; 23 – сжатый воздух; 24 – сырой осадок; 25 – сброженный осадок; 26 – на удобрение; 27 – хлораторная установка; 28 – хлорная вода

Во вторичных отстойниках происходит выпадение активного ила. Часть активного ила из вторичных отстойников перекачивается в аэротенки (циркулирующий активный ил), а часть его (избыточный активный ил) передается в илоуплотнители. После илоуплотнителей ил поступает в метантенки, где сбраживается вместе с осадком из первичных отстойников. Сточные воды после дезинфекции сбрасывают в водоем. Кроме приведенных схем станций применяют и другие, например схему станции с очисткой сточных

вод на биологических биофильтрах. Схемы станций очистки производственных сточных вод зависят от вида вод и весьма разнообразны.

На *рисунке 3.3* приведена технологическая схема физико-химической очистки сточных вод.

Вода, прошедшая решетки и песколовки, направляется в смеситель, куда в определенных дозах подаются растворы реагентов – минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. При введении в сточную воду минеральных коагулянтов образуются оксигидраты металлов, на которых собираются взвешенные, коллоидные и частично растворенные вещества, флокулянты укрупняют хлопья оксигидратов и улучшают их структурно-механические свойства.

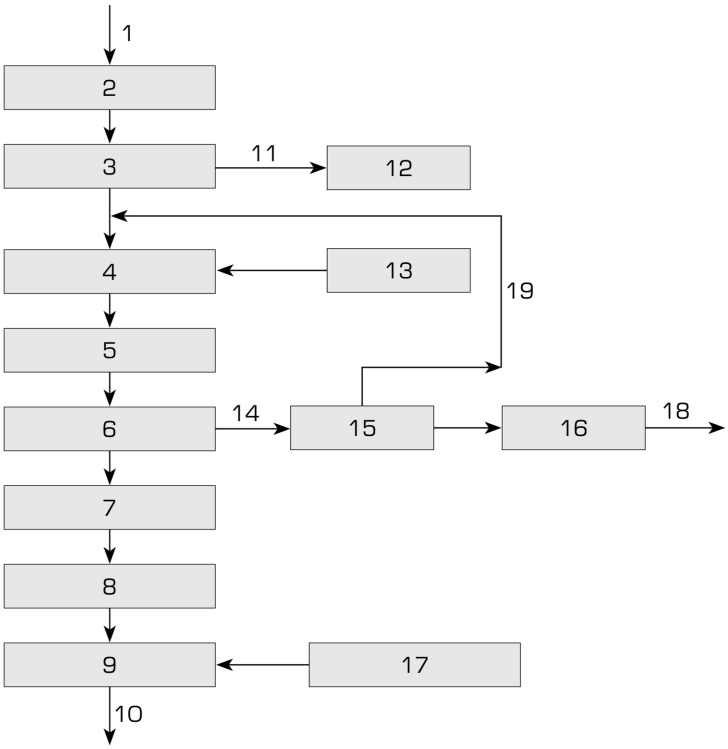


Рисунок 3.3. Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод

1 – сточная вода; 2 – решетки; 3 – песколовки; 4 – смеситель; 5 – камера хлопьеобразования; 6 – горизонтальные отстойники; 7 – барабанные сетки; 8 – фильтры; 9 – контактный резервуар; 10 – выпуск в водоем; 11 – песок; 12 – бункер песка; 13 – приготовление и дозирование реагентов; 14 – осадок; 15 – осадкоуплотнители; 16 – центрифуги; 17 – хлораторная; 18 – шлам; 19 – отстоенная вода

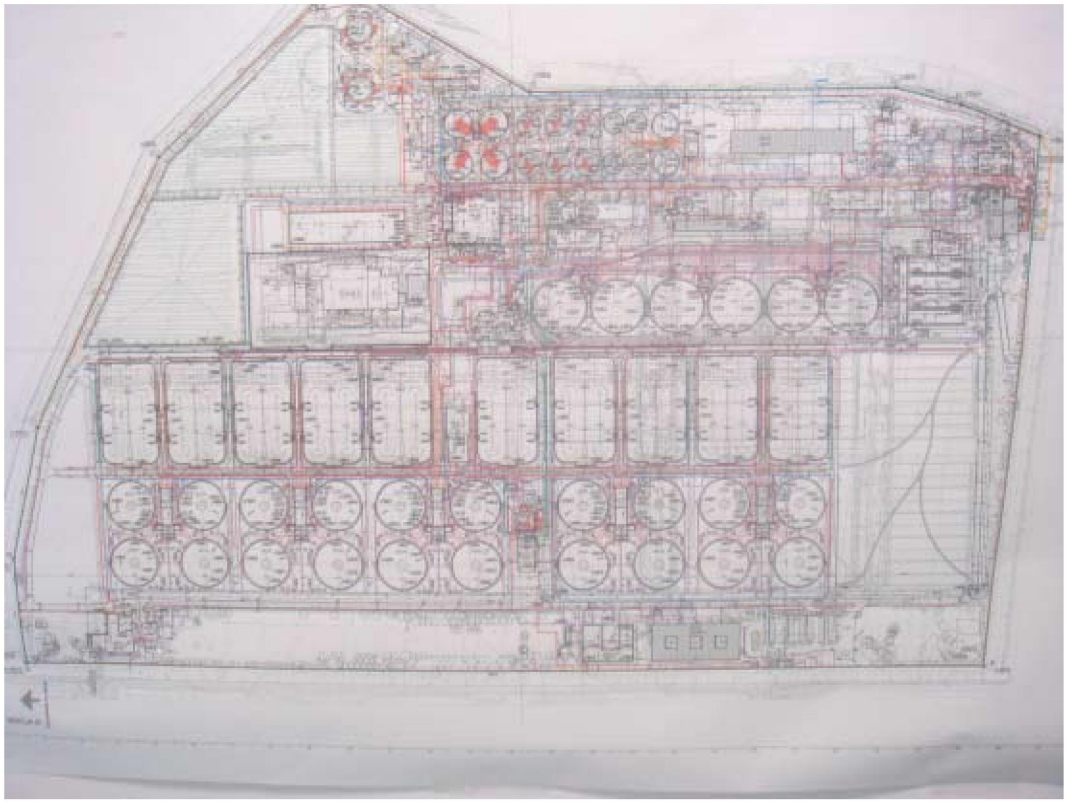
После камер хлопьеобразования осадки отделяются от очищенной воды в горизонтальных отстойниках. Для глубокой очистки от взвешенных ве-

ществ используются барабанные сетки и двухслойные фильтры или фильтры с восходящим потоком воды. Обеззараженная хлором вода сбрасывается в водоем. Осадок из отстойников уплотняется и обезвоживается на центрифугах. Приведенные технологические схемы широко распространены как в отечественной, так и зарубежной практике, при этом имеются станции, работающие измененным схемам.

Атмосферные сточные воды с территорий городов могут очищаться на отдельных очистных сооружениях при использовании, в основном, механических методов. За рубежом атмосферные воды очищаются на городских очистных сооружениях совместно с бытовыми сточными водами, однако, и за рубежом в настоящее время определилась тенденция очистки атмосферных вод на автономных очистных сооружениях. Атмосферные воды с промплощадок могут быть загрязнены такими же веществами, что и производственные, поэтому эти воды с промплощадок очищаются совместно с производственными.

На *фото 3* приведены схемы очистки сточных вод г. Варшавы (Польша) на станции Аэрации.

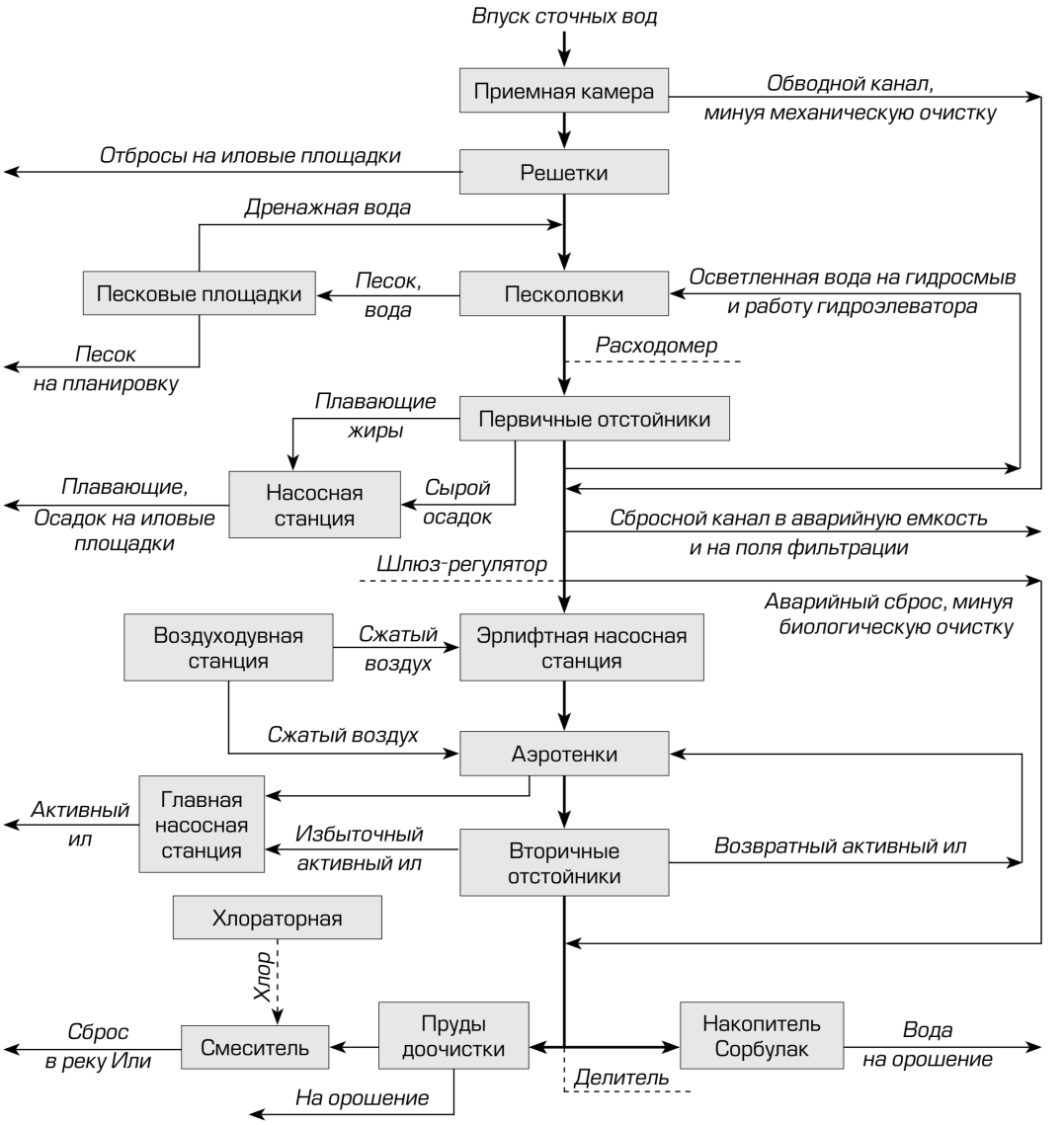
Фото 3. Схема очистки сточных вод г. Варшавы (Польша) на станции Аэрации



Стоки города, поступившие в общегородскую канализацию, подвергаются очистке на станции Аэрации, в состав которой входят три цеха: механической очистки, биологической очистки и цех по отводу сточных вод.

На *рисунке 3.4* приведена схема очистки сточных вод г. Алматы (Казахстан) на станции Аэрации. Стоки города, поступившие в общегородскую канализацию, подвергаются очистке на станции Аэрации, в состав которой входят три цеха: механической очистки, биологической очистки и цех по отводу сточных вод.

Рисунок 3.4. Схема очистки сточных вод г. Алматы на станции Аэрации



Глава 4. СООРУЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

4.1. Решетки

Решетки предназначены для задержания крупных загрязнении. Устанавливают их в приемных резервуарах насосных станций перекачки на очистных станциях или на канале, подводящем сточные воды на очистные сооружения. Лучше устанавливать решетки и в приемном резервуаре и на канале.

Решетки бывают подвижными и неподвижными. Последние имеют большее распространение. Различают также решетки с ручной и механизированной очисткой от отбросов. Механизированная очистка решеток обязательна при количестве отбросов более 0,2 м^3/сут. На *рисунке 3.1* приведена схема установки неподвижной решетки с меха-низированной очисткой. Решетка очищается движущимися граблями, зубцы которых входят в прозоры между ее стержнями и снимают отбросы. Снятые отбросы поступают на транспортер и направляются в дробилку для размельчения. При количестве отбросов более 1 т/сут кроме рабочей дробилки устанавливается резервная. Измельченные отбросы сбрасываются в сточную жидкость перед решетками или перекачиваются в метантенки.

В нашей стране применяют неподвижные решетки с механизированной очисткой следующих типов:

1) решетки типа, которые устанавливаются под углом 600К горизонту и очищается движущимися граблями сверху по течению воды;

2) решетки типа, которые устанавливаются также под углом 60° к горизонту и очищается движущимися граблями снизу по течению воды;

3) вертикальная решетка, которая очищается движущими с граблями снизу по течению воды.

Ширину прозоров решеток на очистных станциях следует принимать равной 16 мм. Поперечное сечение стержней решеток может быть пря-

моугольным (наиболее распространено), овальным или круглым. Число прозоров в решетке и основные ее размеры принимают с таким расчетом, чтобы скорость движения сточной жидкости в прозорах при максимальном притоке составляла 0,8-1 м/с.

Количество снимаемых с решеток отбросов составляет 8 л/год на одного человека. Влажность отбросов равна 80%.

На очистных станциях допускается установка решеток в отдельном здании, где устраивают приточно-вытяжную вентиляцию.

В настоящее время в отечественной практике получают распространение решетки-дробилки, которые и задерживают отбросы, и дробят их под водой. Преимущество решеток-дробилок заключается в том, что для них не требуется устраивать специальные помещения.

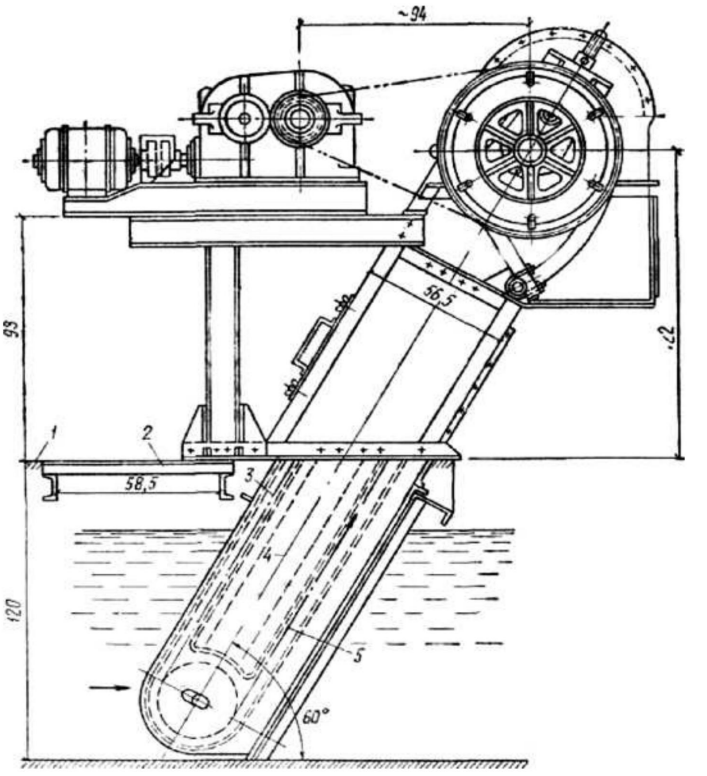


Рисунок 4.1
Схема установки неподвижной решетки с механизированной очисткой

1 – пол грабельного помещения; 2 – люк канала; 3 – ось верхней ветви цепи; 4 – ось направляющих граблей; 5 – ось нижней ветви цепи

4.2. Песколовки

Песколовки предназначены для задержания загрязнений мине-рального происхождения, главным образом, песка с крупностью частиц более 0,2-0,25 мм. В результате задержания песка в пес-коловках облегчаются условия эксплуатации последующих сооружений. Легкие частицы органического происхождения должны выноситься из песколовок. Принцип работы песколовки основан на том, что частицы, удельный вес которых больше удельного веса воды, по мере движения вместе с водой выпадают на дно песколовки под дей-ствием силы тяжести.

Горизонтальные песколовки представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением (рис. 4.2). Важнейшими элементами песколовки являются: входной и выходной каналы; бункер для сбора осадка, располагаемый в начале песколовки. Кроме этого, в песколовке имеются механизм для перемещения осадка в бункер и гидроэлеватор для удаления песка. Механизмы применяются двух типов: цепные и тележечные. Цепные механизмы состоят их двух бесконечных цепей, расположенных по краям песколовки, с закрепленными на них скребками. Механизмы тележечного типа состоят из тележки, перемещаемой над песколовкой по рельсам вперед и назад, на которой подвешивается скребок. Скорость движения воды в них при максимальном расходе принимают равной 0,3 м/с, а при минимальном расходе – не менее 0,15 м/с.

Песколовки бывают горизонтальные и с вращательным движением воды (тангенциальные и аэрируемые).

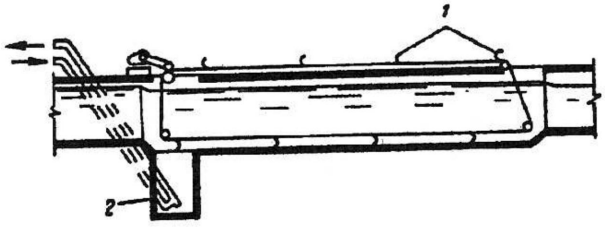


Рисунок 4.2. Горизонтальная песколовка с прямолинейным движением воды и механизированным удалением песка

Горизонтальная песколовка состоит из проточной и осадочной частей.

Длина проточной части, м:

$$L = \upsilon\, t, \qquad (4.1)$$

где υ – скорость протекания жидкости при максимальном расходе;

t – время пребывания жидкости в песколовке, принимаемое не менее 30 с.

Площадь живого сечения песколовки, м^2:

$$\omega = q/\upsilon \qquad (4.2)$$

где q – максимальный расход сточных вод, м^3/с.

Задаваясь рабочей глубиной h и шириной каждого отделения b, определяют необходимое число отделений n. Рабочая глубина h назначается несколько больше глубины потока в подводящем канале, по не более 1 м. Ширина b обычно составляет 0,5-2 м.

Объем осадочной части горизонтальной песколовки определяется m условия накопления в ней двухсуточного объема выпадающего песка.

Горизонтальные песколовки применяют при расходах стоков свыше 10000 м^3/сут, а горизонтальные песколовки с круговым движением – до 70000 м^3/сут.

В ЧССР и ПНР для удаления песка из песколовок применяют центробежные песковые насосы и гидроэлеваторы, смонтированные на тележке, движущейся по рельсам вдоль песколовок. Песчаная пульпа забирается со дна песколовки насосом и подается в гидроциклон, где песок отделяется и направляется в песковой бункер. Там же одновременно осуществляется отмывка органических веществ.

Горизонтальная песколовка с круговым движением воды показана на *рисунке 4.3*.

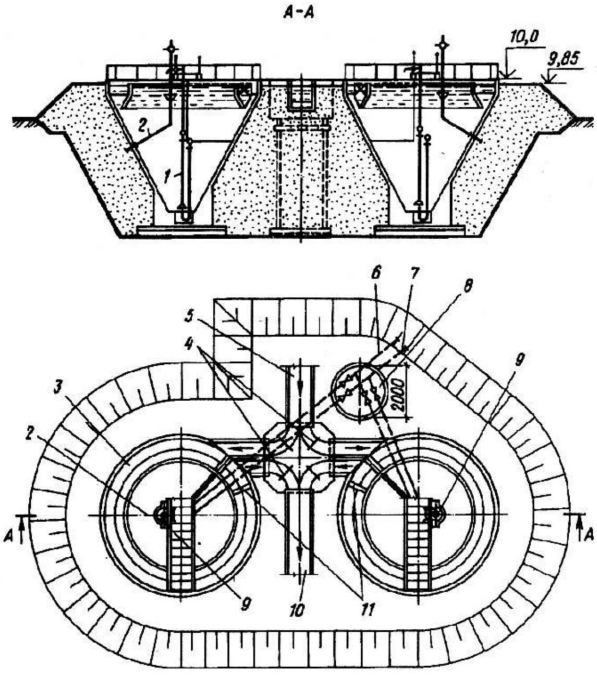


Рисунок 4.3. Горизонтальная песколовка с круговым движением воды

1 – гидроэлеватор; 2 – трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 – желоб; 4 – затворы; 5 – подводящий лоток; 6 – пульпопровод; 7 – трубопровод для рабочей жидкости; 8 – камера переключения; 9 – устройство для сбора всплывающих примесей; 10 – отводящий лоток; 11 – полупогружные щиты

Кольцевой лоток, по которому проходит сточная жидкость, работает как обычная горизонтальная песколовка. Выпадающий песок скапливается в конической части песколовки, откуда его удаляют гидроэлеватором, расположенным в центре песколовки.

Тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане; подвод воды к ним осуществляется по касательной (тангенциально). Подвод воды по касательной и движение ее в сооружении по кругу вызывают возникновение вращательного потока. При одновременном поступательном и вращательном движении создается винтовое движение. Вращательное движение положительно сказывается на работе песколовок, так как оно способствует отмывке песка от органических веществ, исключая их выпадение в осадок. Благодаря этому осадок в тангенциальных песколовках содержит меньше органических загрязнений, чем в горизонтальных

Аэрируемые песколовки выгодно отличаются от горизонтальных и тангенциальных тем, что в них в выпавшем песке почти не содержатся органические загрязнения.

Аэрируемые песколовки (рис. 4.4) проектируют в виде резервуаров, разделенных на секции. Вдоль одной из стенок каждой секции на расстоянии 20-80 см от дна по всей длине песколовки устанавливают аэраторы.

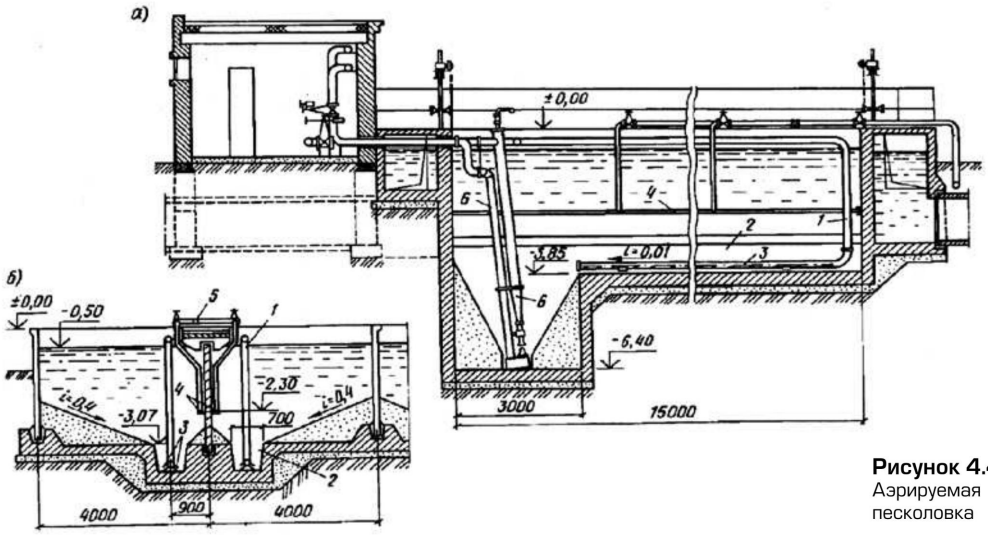


Рисунок 4.4. Аэрируемая песколовка

1 – аэраторы; 2 – песковые лотки

Под аэраторами устраивают лоток для сбора песка. Днище секции песколовки имеет уклон 0,2-0,4 к лотку. В качестве аэраторов можно применять пластмассовые трубы с отверстиями диаметром 3-5 мм или фильтросные (пористые) пластины.

Воздух, поступающий из аэраторов, создает вращательное движение потока в песколовке. Фактическая скорость движения потока соответствует равнодействующей вращательной и поступательной скоростей. Вращательная скорость по периметру песколовки равна 0,25-0,3 м/с, к поступательная – 0,08-0,12 м/с. Для создания необходимой вращательной скорости на 1 $м^2$ площади зеркала воды в песколовке необходимо подавать 3-5 $м^3$ воздуха в 1 ч. Время пребывания воды в песколовке принимают равным 2-3 мин. Песковые площадки и бункера. Песок, задержанный в песколовках, обычно удаляют из них с помощью гидроэлеваторов и в виде песчаной пульпы подают на специально устраиваемые *песковые площадки* – земельные участки, разделенные на карты ограждающими валиками высотой 1-2 м. Профильтровавшуюся воду собирают дренажной системой и направляют в резервуар, откуда перекачивают в канал перед песколовками.

Песок, обезвоженный на песковых площадках, содержит много органических веществ, способен загнивать и поэтому его дальнейшее использование для каких-либо целей, например для планировки, затруднительно по санитарным соображениям.

С целью отмывки песка от органических загрязнений и его обезвоживания применяют *песковые бункера, гидроциклоны, гидравлические и механические пескопромыватели*. После такой обработки песок можно использовать для подсыпки и планировки территории или как строительный материал.

4.3. Отстойники

Отстойники служат для задержания нерастворенных органических загрязнений, находящихся в сточной жидкости. Эти загрязнения выпадают на дно отстойников или всплывают на поверхность жидкости в них вследствие малой скорости ее протекания.

В зависимости от направления потока различают горизонтальные, вертикальные и радиальные отстойники. Разновидностью отстойников являются также отстойники-перегниватели, в которых происходит ос-ветление сточной жидкости и одновременно перегнивание выпавшего осадка. К ним относятся двухъярусные отстойники и осветлители-перегниватели.

Отстойники применяют как сооружения предварительной очистки сточных вод перед сооружениями биологической очистки. В этом случае их называют первичными. Если по санитарным условиям достаточно только механической очистки сточных вод, то осветленные в отстойнике воды после дезинфекции сбрасывают в водоем.

При очистке бытовых сточных вод принимают не менее двух отстойников, при этом каждый из них является рабочим.

Основными исходными данными при расчете и проектировании отстойников служат продолжительность отстаивания и максимальная скорость протекания сточной жидкости. Эти величины для отстойников различных типов и назначений приведены в СНиП РК 4.01-02-2001 г.

Горизонтальный отстойник (рис. 4.5) представляет собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный Na несколько отделений. Сточная жидкость поступает в отстойник с торцовой стороны, с малой скоростью проходит через него, а затем осветленная попадает в отводной канал.

Горизонтальные отстойники обычно применяют на очистных станциях производительностью более 15 000 м ^{3}/сут. Однако при наличии слабых грунтов с высоким уровнем грунтовых вод их можно применять и при меньшей производительности станции.

Расчет горизонтальных отстойников состоит в определении размеров проточной (отстойной) и осадочной частей.

Расчетную глубину зоны отстаивания H принимают в пределах 1,5-4 м в зависимости от производительности очистной станции и необходимой эффективности выпадения взвешенных веществ (чем меньше H, тем выше эффективность выпадения взвешенных веществ).

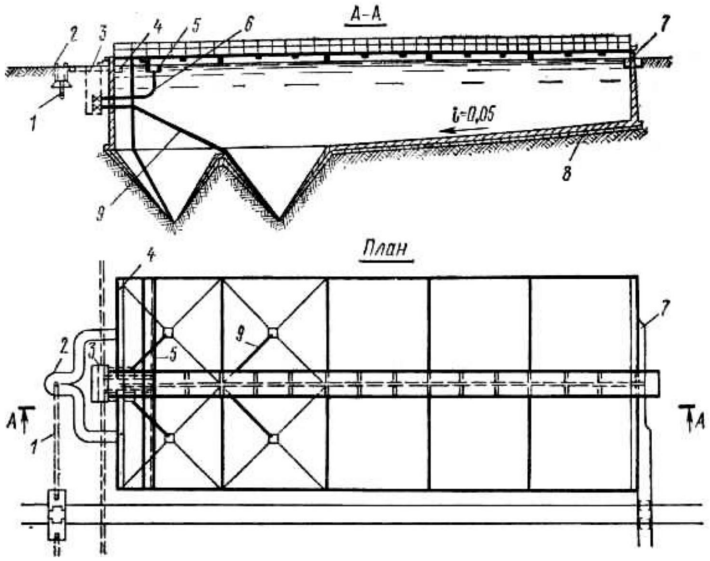


Рисунок 4.5. Горизонтальный отстойник

1 – дюкер; 2 –распределительная камера; 3 – иловый колодец;
4 – подводящий лоток: 5 – жировой лоток; 6 – жировая труба; 7 – сборный лоток;
8 – днище; 9 – иловая труба

Эффективность выпадения взвешенных веществ при полученной скорости выпадения взвеси определяют по СНиП РК 4.01-02-2001.

Количество выпадающего в первичных отстойниках осадка равно 0,8 л/сут на одного жителя. Влажность выгружаемого осадка составляет 95% при самотечном удалении и 93% при удалении плунжерными насосами.

В начале отстойника устраивается приямок для сбора осадка с углом наклона стенок 45°. Для сгребания осадка следует применять скребки. Из приямка осадок удаляется под действием гидростатического напора воды, равного 1,5 м, или откачивается плунжерными насосами.

Объем осадочной части отстойников принимают равным объему осадка, выпадающего за период не более 2 сут при удалении осадка под гидростатическим напором или за 8 ч при механизированном его удалении.

Между проточной и осадочной частями должен быть создан ней-тральный слой высотой 0,3 м, считая от днища отстойника на выходе из него. Нейтральный слой необходим для предохранения вы-павшего осадка от вымывания потоком воды.

Вертикальный отстойник представляет собой круглый, квадратный или прямоугольный в плане резервуар с конусным или пирамидальным днищем.

Вертикальные отстойники обычно применяют на очистных станциях производительностью до 20 000 м^3/сут, располагающихся на плотных грунтах с низким уровнем грунтовых вод.

Сточная жидкость по центральной трубе (рис. 4.6) поступает в низ цилиндрической части отстойника, где меняет направление, распределяясь относительно равномерно по всему поперечному сечению его.

Затем сточная жидкость поднимается вверх и сливается через кольцевой водослив в сборный лоток. Во время отстаивания из сточной жидкости выпадают те взвешенные частицы, у которых скорость осаждения больше скорости восходящего потока.

Диаметр вертикальных отстойников принимают от 4 до 9 м, высоту отстойной части – от 2,7 до 3,8 м. Длина центральной трубы должна равняться расчетной высоте отстойной части. Уклон стенок осадочной части должен быть не менее 50°.

Объем осадочной части рассчитывают на хранение двухсуточного объема осадка. Осадок удаляется периодически не реже 1-2 раз в сутки самотеком по иловой трубе диаметром 200 мм под гидростатическим напором, равным 1,5 м.

Радиальный отстойник (рис. 4.7) представляет собой круглый в плане резервуар малой глубины, в котором поток движется от центра к периферии.

Сточные воды поступают в отстойник по центральной трубе, а осветленные отводятся по кольцевому лотку. Осадок сгребается к центру отстойника скребками, подвешенными к ферме. В центре отстойника устраивается приямок для сбора осадка. Удаление осадка осуществляется с помощью насосов.

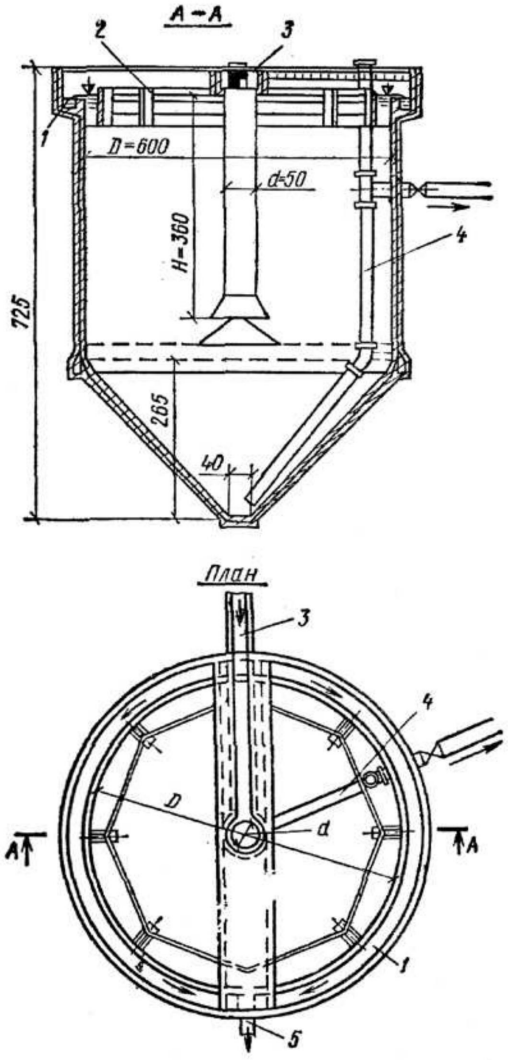


Рисунок 4.6. Вертикальный отстойник

1 – сборный лоток, 2 – полупогруженные доски, 3 – подводящий лоток,
4 – иловая труба, 5 – отводной трубопровод.

Радиальные отстойники применяют для очистных станций производительностью более, 20 000 м^3/сут.

Продолжительность отстаивания зависит от способа биологической и принимается такой же, как и для горизонтальных отстойников.

В последние годы проектируют и строят радиальные отстойники с периферийной подачей сточных вод. Водораспределительный желоб, расположенный на периферии отстойника, имеет достоянную ширину и переменную глубину.

Так как в дне желоба впускные отверстия размещены на разном расстоянии друг от друга, обеспечивается постоянная поступательная, скорость движения воды в желобе и поэтому осадок в желобе не выпадает.

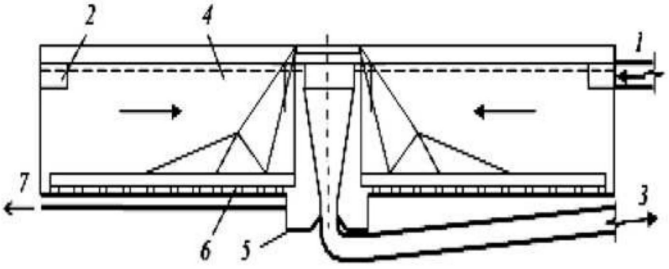


Рисунок 4.7. Радиальный отстойник с периферийным впуском

1 – подача сточной воды; 2 – водораспределительный желоб; 3 – отводящий трубопровод; 4 – отстойная зона; 5 – иловый приямок; 6 – скребковый механизм; 7 – удаление осадка

Поток жидкости направляется в нижнюю зону отстойника, а затем в центральную зону и вверх к водоотводящему кольцевому желобу. Такое движение потока создает благоприятные условия для выпадения взвешенных веществ. Осадок отводится за пределы отстойника по иловой трубе.

Отстойник с вращающимся водораспределительным и водосборным устройством, предложенный И.В. Скирдовым (рис. 4.8), обеспечивает осветление основной массы сточной жидкости в покое, что существенно повышает эффект осветления.

Распределение сточной жидкости и сбор осветленной воды производится с помощью вращающегося желоба, разделенного продольной перегородкой на два лотка. Распределительный лоток имеет струенаправляющие лопатки и днище со щелями, через которые падают тяжелые частицы.

Водосборный лоток с затопленным водосливом имеет водонепроницаемые стенки и днище. Вода из лотка отводится с помощью сифона в отводящий желоб. Водосборный лоток у днища снабжен направляющим козырьком.

Отстойник такой конструкции имеет производительность, в 1,5 раза большую производительности типового радиального отстойника при одинаковом эффекте осветления.

В настоящее время все большее распространение находят полочные или тонкослойные отстойники. Они имеют водораспределительную, отстойную, водосборную и осадочную зоны.

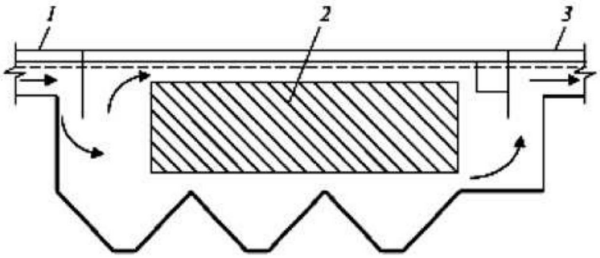


Рисунок 4.8. Горизонтальный отстойник с тонкослойными блоками

1 – подача стоков; 2 – тонкослойный блок; 3 – отвод осветленной воды

Отстойная зона разделена по высоте полками с расстоянием между ними до 15 см. Осадок сползает в иловый приямок, откуда его периодически удаляют. Всплывающие вещества собираются в пазухе между секциями и удаляются по лотку. Известен ряд конструкций тонкослойных отстойников.

Биофлокуляция – это метод интенсификации процесса отстаивания, заключающийся в добавлении к сточной воде активного ила (биопленки) и аэрации получившейся смеси.

При этом эффективность осветления увеличивается до 60–80%, а снижение БПК – на 40–50%. Биофлокуляция осуществляется в таких сооружениях, как преаэраторы и бифлокуляторы.

Преаэраторы выполняются в виде отдельных, встроенных или пристроенных к первичным отстойникам сооружений. Предварительная аэрация увеличивает эффект осветления на 10–15%.

Биофлокуляторы создаются на базе горизонтальных, вертикальных и радиальных отстойников. Для этого в них оборудуются аэраторы, благодаря чему в отстойной зоне образуется взвешенный слой, способствующий осветлению фильтрующейся через него сточной воды.

4.4. Усреднители

Усреднитель – сооружение, предназначенное для выравнивания количества сточных вод и концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку. Различают усреднители расходов и усреднители концентра-

ции поступающих сточных вод. Как правило, производится усреднение веществ, находящихся в сточных водах в коллоидной или растворенной форме.

Использование метода усреднения позволяет оптимизировать работу всех очистных сооружений, сократить количество применяемых реагентов при физико-химических способах очистки, снизить затраты на электроэнергию, т.е. повысить экономический эффект, а также добиться оптимального режима эксплуатации сооружений биологической очистки.

При небольших расходах и периодическом сбросе воды используют контактные усреднители. Однако, как правило, применяют усреднители проточного типа, которые выполняются в виде многоканальных резервуаров или резервуаров с перемешивающими устройствами.

Различают следующие типы проточных усреднителей:

– многоканальные – прямоугольные (конструкции Ванякина Д.М.) и круглые (конструкции Шпилева Д.А.) в плане, с неравномерным распределением расхода воды по каналам;

– усреднители-смесители (усреднители с перемешивающими устройствами) барботажного типа и с механическим перемешиванием.

Тип усреднителя выбирается в зависимости от характера и количества нерастворенных компонентов (например, взвешенных веществ), а также динамики поступления сточной воды.

Многоканальные усреднители применяются для выравнивания залповых сбросов сточных вод с содержанием взвешенных веществ гидравлической крупностью до 5 мм/с при концентрации до 500 мг/л.

Усреднение в таких устройствах происходит путем распределения потока воды, который делится на несколько струй, протекающих по коридорам усреднителя. Коридоры имеют разную длину (или ширину), поэтому в сборном лотке смешиваются струи воды с различной концентрацией загрязнителей, поступивших в усреднитель в разное время.

Усреднитель-смеситель барботажного типа (рис. 2.13) применять для усреднения состава сточных вод с содержанием взвешенных веществ до 500 мг/л гидравлической крупностью до 10 мм/с при любом режиме их поступления.

Усреднение в этом случае достигается с помощью интенсивного перемешивания, обеспечиваемого барботированием сточных вод воздухом.

Одним из важных условий эффективного усреднения является максимально равномерное распределение сточных вод по площади усреднителя барботажного типа. Для этого используются системы подающих лотков с придонными водосливными окнами или треугольными водосливами.

Глава 5. СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

5.1. Биологические фильтры

Биологические фильтры относятся к сооружениям биологической очистки сточных вод в искусственно созданных условиях.

По производительности биофильтры подразделяют на *капельные* и *высоконагружаемые*.

По способу подачи воздуха различают биофильтры с естественной и *искусственной вентиляцией*. Для капельных биофильтров используют естественную вентиляцию, для высоконагружаемых – как естественную, так и искусственную вентиляцию. В последнем случае биофильтры называют *аэрофильтрами*.

Капельные биофильтры. Капельные биофильтры состоят из сле-дующих основных элементов: водонепроницаемого основания, дренажа, стенок (воздухонепроницаемых или воздухопроницаемых), фильтрующей загрузки и распределительного устройства. В плане капельные биофильтры могут иметь прямоугольную или круглую форму.

Сущность процессов, протекающих в биофильтре, такова. На по-верхности зерен загрузки фильтра сорбируются нерастворенные и коллоидные загрязнения, образуя биологическую пленку, заселенную микроорганизмами. Попадая на эту пленку, растворенные загрязнения сточных вод окисляются микроорганизмами. Отмершая пленка смывается сточной жидкостью и выносится из тела биофильтра.

Осветленная в первичных отстойниках сточная жидкость пери-одически через специальное устройство равномерно распределяется по площади биофильтра (рис. 5.1). Пройдя через слой загрузки и дренаж, жидкость собирается системой лотков и отводится по ним во вторичный отстойник. Назначение вторичного отстойника состоит в задержании отмершей биологической пленки, выносимой из биофильтра.

Расчет капельного биофильтра заключается в определении объема загрузки, площади в плане, числа секций, размеров распределительных устройств и лотков для сбора очищенной жидкости.

Рабочая высота биофильтра равна 1,5-2 м.

Высоконагружаемые биофильтры. Эти фильтры отличаются от капельных особенностями конструктивного и эксплуатационного характера. К особенностям конструктивного характера относятся увеличение крупности зерен загрузки, изменение конструкции днища и дренажа, увеличение высоты загрузки. Особенности эксплуатационного характера состоят в уменьшении перерывов в подаче жидкости и повышении гидравлической нагрузки на 1 м^2 площади фильтра, что способствует вымыванию отмершей биологической пленки.

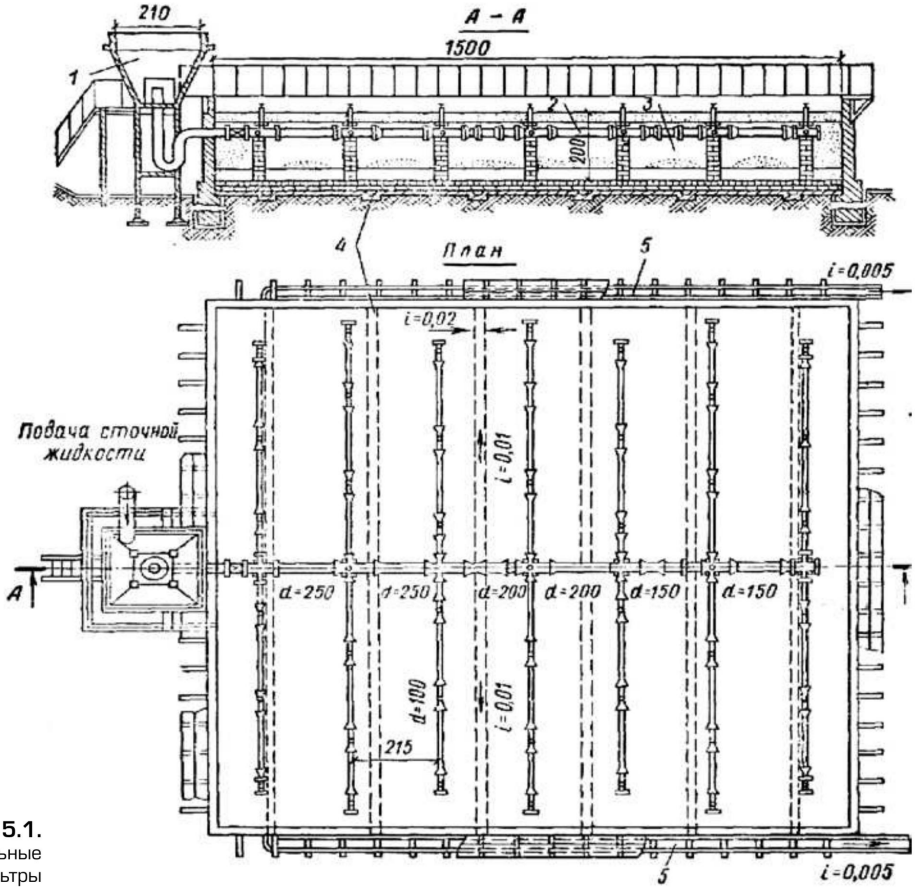


Рисунок 5.1. Капельные биофильтры

1 – дозирующий бак; 2 – распределительная сеть; 3 – фильтрующая загрузка; 4 – дренаж; 5 – сборный лоток

Капельные биофильтры применяют при расходе сточных вод не более 1000 м^3/сут. необходимых случаях поступающего стока очищенными сточными водами, т.е. в применении рециркуляции для снижения БПК-

По принципу действия различают высоконагружаемые биофильтры, работающие на полную и неполную очистку.

По режиму работы высоконагружаемые биофильтры делят на работающие с рециркуляцией и без рециркуляции. Снижая БПК поступающих на биофильтры сточных вод, рециркуляция обеспечивает устойчивую работу фильтров.

По способу очистки высоконагружаемые биофильтры могут быть одноступенчатыми и двухступенчатыми. В первой ступени проводится частичная очистка воды, а во второй – полная.

По способу подачи воздуха различают высоко-нагружаемые биофильтры с естественной и искусственной вентиляцией.

По высоте высоконагружаемые фильтры делят на низкие (до 2 м) и высокие (2 м и выше).

По виду загрузки высоконагружаемые фильтры могут быть с объемной загрузкой (гравий, щебень, керамзит и пр.) и с плоскостной загрузкой (кольца или обрезки из керамических или пластмассовых засыпных элементов, жесткая загрузка в виде решеток или блоков из плоских или гофрированных листов и пр.).

Расчет высоконагружаемых биофильтров проводят в такой последовательности.

1. Определяют коэффициент

$$K = L_a/L_t \qquad (5.1)$$

где L_a и L_t – БПК$_{20}$ сточной жидкости, поступающей на биофильтр, в БПК$_{20}$ очищенной сточной жидкости, мг/л.

2. По среднезимней температуре сточной жидкости и найденному значению K, используя табл. 39 СНиП РК 4.01-02-2001, которая здесь не приводится, определяют рабочую высоту биофильтра H, гидравлическую нагрузку q и количество подаваемого воздуха B. Рабочая высота биофильтра колеблется в пределах 2-4 м, гидравлическая нагрузка – 10-30 м^3/м^2 в сутки, количество подаваемого воздуха – 8-12 м^3 на 1 м^3 сточной жидкости.

La сточной жидкости должно быть не более 300 мг/л. При L, более 300 мг/л необходима рециркуляция.

3. Определяют L_{CM} – БПК$_{20}$ смеси сточной жидкости для биофильтров рециркуляцией и n – коэффициент рециркуляции:

$$L_{CM} = K L_t \quad (5.2)$$

$$n = \frac{L_a - L_{cm}}{L_{cm} - L_t} \quad (5.3)$$

4. Определяют площадь биофильтров, по формулам: в случае их работы без рециркуляции

$$F = Q/q \quad (5.4)$$

в случае их работы с рециркуляцией

$$F = Q(n + 1)/q, \quad (5.5)$$

где Q – расчетный расход сточных вод, м/сут.

Конструктивные особенности биофильтров. В качестве загрузочного материала для фильтров используют щебень и гальку прочных пород, а также керамзит и пластмассы. Крупность загрузочного материала для высоконагружаемых фильтров принимается равной 40-60 мм по всей высоте загрузки. Крупность материала нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м составляет 60-100 мм. Крупность загрузочного материала для капельных биофильтров принимается равной 30-50 мм с постепенным увеличением по глубине.

Распределение сточной жидкости по поверхности биофильтров осуществляется неподвижными разбрызгивателями или подвижными реактивными оросителями. Наибольшее распространение из неподвижных разбрызгивателей получили спринклерные установки. Спринклерная установка состоит из дозирующего бака, распределительных труб и спринклеров. Спринклерные головки-насадки, установленные на вертикальных отростках, соединены с распредели-тельными трубами, уложенными в теле биофильтра.

Для нормальной работы биофильтра необходима подача воздуха в достаточном количестве. В капельных биофильтрах обычно используется естественная вентиляция, создаваемая разностью температур наружного воздуха и тела биофильтра. В высоконагружаемых биофильтрах воздух подается вентиляторами в пространство между дренажем и днищем.

В последние годы в отечественной и зарубежной практике находят распространение биофильтры,с пластмассовой загрузкой. Они имеют высокую производительности обеспечивают хорошую очистку. Высоту таких

биофильтров принимают равной 3-4 м. В качестве загрузочного материала возможно применение блоков из поливинилхлорида, полистирола и других жестких, пластмасс.

5.2. Аэротенки

Аэротенки относятся к сооружениям биологической очистки сточных вод в искусственно созданных условиях. Обычно их выполняют в виде длинных железобетонных резервуаров (коридоров) глубиной 3-6 м и шириной 6-10 м. Поступающая в аэротенк осветленная жидкость смешивается с активным илом. Активный ил – это скопление микроорганизмов, способных сорбировать на своей поверхности органические загрязнения и окислять их в присутствии кислорода воздуха. Смесь осветленной сточной жидкости и активного ила по всей длине аэротенка продувается воздухом.

На *рисунке 5.2* представлена схема работы аэротенка. Из аэротенка смесь сточных вод с активным илом направляется во вторичный отстойник, где активный ил осаждается и затем возвращается в аэротенки. Этот ил носит название циркулирующего активного ила.

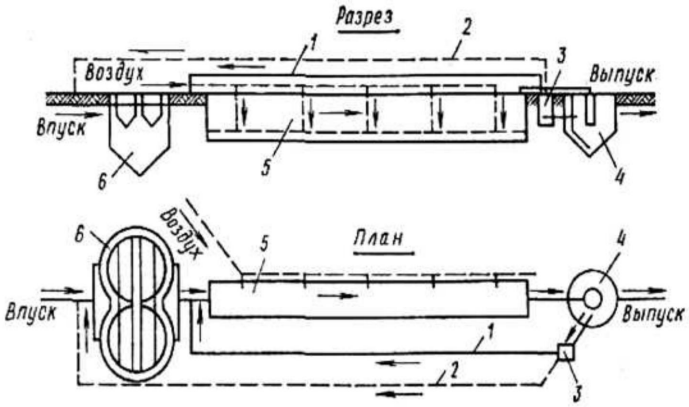


Рисунок 5.2. Схема работы аэротенка

1 – циркулирующий активный ил; 2 – избыточный активный ил; 3 – насосная станция; 4 – вторичный отстойник; 5 – аэротенк; 6 – первичный отстойник

В результате роста микроорганизмов и сорбции органических загрязнений масса ила в аэротенках непрерывно возрастает. С увеличением его концентрации в аэротенках увеличивается вынос активного ила из вторичных отстойников и снижается качество очищенной воды. Для предотвращения этого часть активного ила (избыточный активный ил) не возвращается в аэротенки, а направляется на илоуплотнители.

Процесс разложения органического вещества в аэротенке протекает в три фазы. В первой фазе происходит сорбция органических загрязнений

на хлопьях активного ила и окисление легкоокисляющихся органических веществ. При этом ВПК сточной жидкости резко снижается. Во второй фазе окисляются трудноокисляющиеся органические вещества и происходит регенерация активного ила, т.е. восстановление его сорбирующей способности. В третьей фазе происходит нитрификация аммонийных солей.

Аэротенки можно применять для частичной и полной очистки сточных вод. Частичную очистку применяют, если местные условия позволяют использовать самоочищающую способность водоема.

Для обеспечения устойчивой работы аэротенков устраивают регенераторы – сооружения, в которых восстанавливается сорбирующая способность активного ила. Ил в регенераторах постоянно аэрируется. Под регенераторы обычно выделяют часть коридоров аэротенков. Существует ряд схем работы аэротенков. Кроме одно-ступенчатых аэротенков с регенерацией или без нее, работающих на полную или частичную очистку, применяют также аэротенки-смесители, двухступенчатые аэротенки и аэротенки со ступенчатой аэрацией.

Аэротенк-смеситель применяют обычно для очистки производственных сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений. В целях улучшения использования кислорода сточную жидкость подают в аэротенк-смеситель рассредоточенно по его длине.

Расчетный объем аэротенка зависит от расхода сточной жидкости, ее загрязненности органическими веществами, количества подаваемого воздуха и концентрации активного ила.

Продолжительность аэрации или время пребывания сточной жидкости в аэротенках устанавливают по формуле

$$t = \frac{L_a - L_t}{a(1-S)\rho} \qquad (5.6)$$

где L_a и L_e – $БПК_{20}$ поступающей в аэротенк сточной жидкости и $БПК_{20}$ очищенной жидкости, мг/л; a – доза ила, принимаемая в аэротенках, работающих на полную очистку, равной 1,5 г/л; на неполную очистку – 2 г/л; в регенераторах – 4 г/л; S – зольность ила, равная 0,3; ρ – скорость окисления загрязнений, мг БПКго за 1 ч на 1 г беззольного вещества, определяемая по табл. 42 СНиП РК 4.01-02-2001.

Удельный расход воздуха, м^3 на 1 м^3 сточной жидкости, следует определять по формуле

$$D = \frac{Z(L_a - L_t)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C)} \qquad (5.7)$$

где Z – удельный расход кислорода, мг на 1 мг снятой в процессе очистки $БПК_{20}$ (0,9-1,05); L_a и L_e – то же, что и в формуле (4.6); K_1, K_2, n_1, n_2 – коэффициенты, учитывающие тип аэратора, глубину его погружения, температуру сточных вод и их свойства (значения этих коэффициентов принимают по СНиП РК 4.01-02-2001); C_p – растворимость кислорода в жидкости; C – концентрация кислорода; растворенного в жидкости, находящейся в аэротенке (1-2 мг/л).

Объем аэротенка, м^3:

$$V = Q^* t \qquad (5.8)$$

Q – расход сточной жидкости, t – продолжительность аэрации

Площадь аэротенка, м^2:

$$F = V/H, \qquad (5.9)$$

где H – рабочая глубина аэротенка, принимаемая равной 3-6 м.

Объем аэротенка V включает объем собственно аэротенка и объем регенератора. Объем регенератора при полной очистке должен составлять 25-50%, а при частичной очистке – 50% расчетного объема аэротенка.

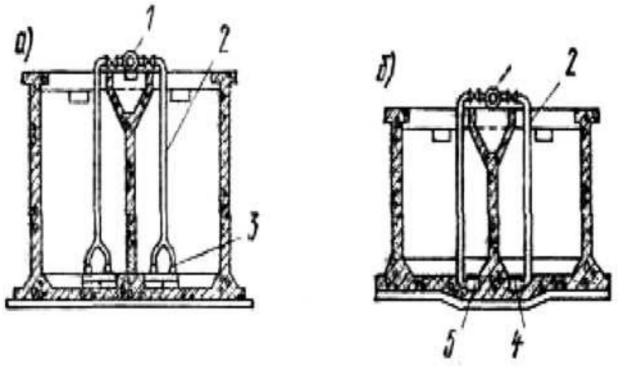


Рисунок 5.3. Распределение воздуха в аэротенке

где а – перфорированными трубами; б – фильтросными пластинками; 1 – воздуховод; 2 – стояк; 3 – перфорированная труба; 4 – фильтросная пластина; 5 – воздушный канал сточной жидкости сжатым воздухом и аэротенки с механической аэрацией

Расчетную площадь аэротенков разбивают на секции, каждая из которых состоит из нескольких коридоров (от двух до четырех). Часть коридоров (один-два) выделяется под регенераторы. Сточная жидкость переходит последовательно из одного коридора в другой. Длина аэротенков обычно

назначается в пределах 50-130 м. Отношение ширины коридора к рабочей глубине аэротенка следует принимать от 1 : 1 до 1 : 2.

Различают аэротенки с продувкой сточной жидкости сжатым воздухом и аэротенки с механической аэрацией. Воздух в аэротенки подается воздуходувками по системе воздуховодов. Распределение воздуха в аэротенке производится через пористые керамические материалы (фильтросные пластины, керамические трубы, синтетические ткани). На *рисунке 5.3* показано распределение воздуха перфорированными трубами и фильтросными пластинами. Обычно воздух поступает в перфорированные трубы или в канал, по верху которого укладываются фильтросные пластины, из стояков, которые отходят от основного магистрального воздуховода, располагаемого на продольной стенке аэротенка. Расстояние между стояками принимается в пределах 20-40 м. Перфорированные трубы помещают с одной стороны коридора аэротенка вдоль его длины для обеспечения циркуляции потока в поперечном сечении. Отверстия в них диаметром 2-2,5 мм располагают на расстоянии 10-15 см друг от друга. Фильтросные пластины располагают в один-три ряда также с одной стороны коридора аэротенков вдоль его длины.

5.3. Сооружения для предварительной аэрации и биокоагуляции

Преаэраторы и биокоагуляторы применяют в тех случаях, когда в сточной жидкости требуется уменьшить содержание взвешенных веществ на большую величину, чем это способны сделать первичные отстойники. Пре-

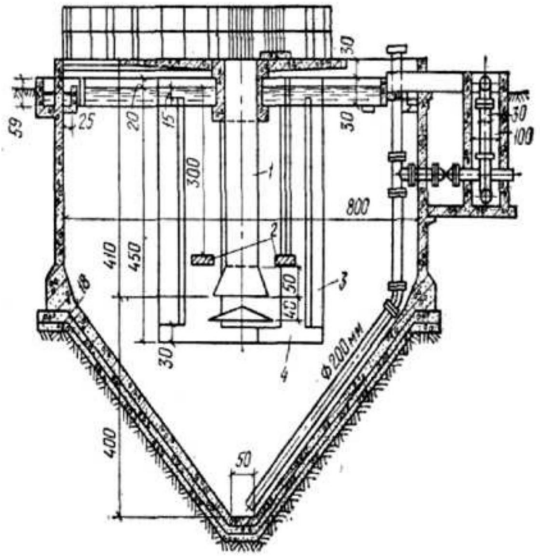
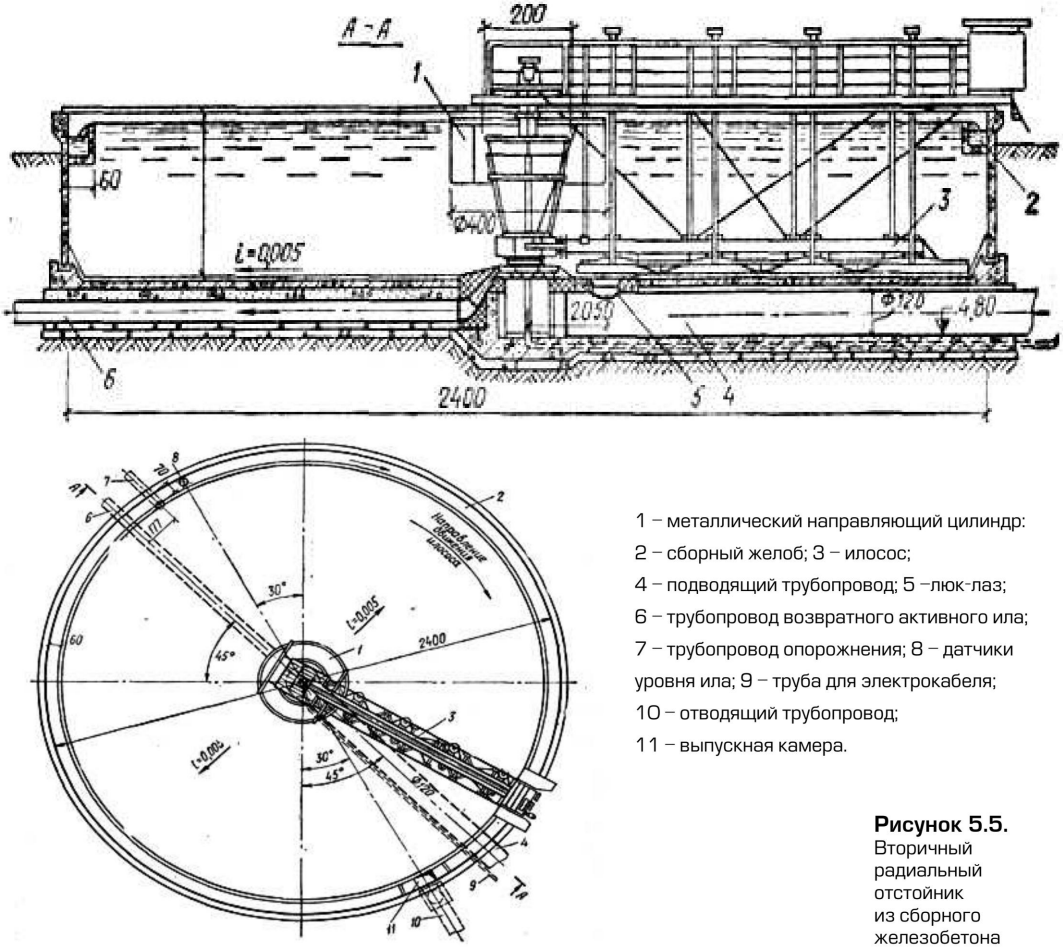


Рисунок 5.4.
Биокоагулятор

аэраторы устраивают перед первичными отстойниками в виде отдельных или пристроенных, либо встроенных сооружений, а биокоагуляторы совмещают в отстойниками.

Предварительная аэрация, проводимая в подводящих каналах или преаэраторах, заключается в продувке сточной жидкости воздухом в течение 10-20 мин с добавкой активного ила или без нее. Эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках с преаэраторами достигает 50-60%, а $БПК_{20}$ снижается на 15%. Количество подаваемого в преаэраторы воздуха составляет 0,5 $м^3$ на 1 $м^3$ сточной жидкости.

Биокоагуляция, проводимая в биокоагуляторах (рис. 5.4), заключается в следующем. Сточная жидкость по центральной трубе *1* подается в камеру биокоагуляции *4*. В камеру добавляется активный ил или биологическая пленка. Воздух вводится в камеру с помощью фильтросных пластин *2*.



1 – металлический направляющий цилиндр:
2 – сборный желоб; 3 – илосос;
4 – подводящий трубопровод; 5 –люк-лаз;
6 – трубопровод возвратного активного ила;
7 – трубопровод опорожнения; 8 – датчики уровня ила; 9 – труба для электрокабеля;
10 – отводящий трубопровод;
11 – выпускная камера.

Рисунок 5.5. Вторичный радиальный отстойник из сборного железобетона

Водовоздушная смесь движется в камере вверх и по карманам *3* спускается вниз, направляясь в зону отстаивания. В зоне отстаивания жидкость проходит через взвешенный слой, осветляется и отводится по кольцевому лотку. Количество подаваемого воздуха составляет 0,5 м^3 на 1 м^3 сточной жидкости. Перед подачей в биокоагулятор активный ил или биологическую пленку необходимо регенерировать в течение 24 ч. Скорость движения воды в зоне отстаивания биокоагулятора должна быть не более 0,8-0,85 мм/с.

5.4. Вторичные отстойники и илоуплотнители

Сточная жидкость, прошедшая аэротенки, содержит активный ил, а прошедшая биофильтры, – биологическую пленку. Для задержания активного ила или биологической пленки применяют вторичные отстойники, располагаемые после аэротенков и биофильтров. Вторичные отстойники в зависимости от направления потока бывают горизонтальные, вертикальные и радиальные. Максимальную скорость протекания жидкости для горизонтальных и радиальных отстойников принимают равной 5 мм/с, а для вертикальных – 0,5 мм/с.

Время пребывания сточной жидкости в отстойниках после аэротенков, работающих на полную очистку, составляет 2 ч, после капельных биофильтров и аэротенков, работающих на неполную очистку, – 0,75 ч и после высоконагружаемых биофильтров – 1,5 ч.

Активный ил, осевший в остойниках, снова перекачивается в аэротенки. Расход циркулирующего активного ила составляет 30-70% расхода сточной жидкости, поступающей на аэротенки. Влажность активного ила, выгружаемого из вторичных отстойников, равняется 99,2-99,5%.

Конструкции вертикальных вторичных отстойников аналогичны конструкциям вертикальных первичных отстойников. Обычно вертикальные вторичные отстойники применяют на станциях малой и средней производительности, а для станций большой производительности проектируют радиальные отстойники.

Избыточный активный ил из вторичных отстойников направляется на илоуплотнители, которые служат для уменьшения его влажности перед подачей в метантенки с 99,2-99,5 до 95-98%. При этом объем ила уменьшается в 4-10 раз. Илоуплотнители бывают вертикальные и радиальные. Их конструкции аналогичны конструкциям отстойников. Продолжительность пребывания ила в уплотнителях радиального типа 5-14 ч, в уплотнителях вертикальною типа 10-16 ч. Илоуплотнители радиального типа устраивают с илососами или илоскребами. Уплотненный ил выпускают под гидростатическим напором 0,5-1 м через водосливы.

Глава 6. СООРУЖЕНИЯ ФИЗИКО–ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

6.1. Очистка сточных вод флотацией

Методы очистки сточных вод, в основе которых лежат процессы, описываемые законами физической химии, называются *физико-химическими*.

В практике очистки сточных вод часто встречаются ситуации, когда биологические очистные сооружения не могут обеспечить эффективную работу, например, вследствие длительных перерывов о поступлении сточных вод, нестабильности энергоснабжения, и также присутствия в сточных водах соединений, токсичных для биоценозов, и ряда других. Особенность сооружений физико-химической очистки сточных вод – быстрота ввода в режим эксплуатации, что важно при решении задач жизнеобеспечения, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций.

В схемах станций очистки сточных вод населенных мест на разных этапах обработки воды могут применяться такие методы, как флотация, коагулирование и сорбция. Целесообразность включения их в состав очистных сооружений должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Флотация – один из видов адсорбционно-пузырькового разде-ления, основанный на формировании всплывающих агломератов загрязнений с диспергированной газовой фазой (флотокомплексов) и последующим их отделением в виде концентрированного пенного продукта (флотошлама).

В соответствии с классификацией загрязнений городских сточных вод флотация позволяет осуществлять извлечение грубых пресных примесей, характеризуемых показателем «взвешененные вещества», наличием плавающих веществ (нефтепродукты, жиры и подобные вещества) и ПАВ.

В соответствии с классификацией загрязнений городских сточных вод флотация позволяет осуществлять извлечение грубодисперсных примесей, характеризуемых показателем «взвешенные вещества», наличием плавающих веществ (нефтепродукты, жиро подобные вещества) и ПАВ.

В технологических процессах очистных сооружений населенных мест наибольшее применение имеет флотация с компрессионным получением диспергированной газовой фазы. Газовая фаза, получаемая этим способом, обладает большой удельной поверхностью и адгезионной активностью. Флотокомплексы, сформировавшиеся на ее основе, обладают высокой скоростью всплывания, достигающей 20 мм/с. Это существенно уменьшает период отделения загрязнений по сравнению с отстаиванием.

Функционально флотационные сооружения могут осуществлять задачи предварительного осветления поступающих сточных вод, доочистки сточных вод по взвешенным веществам и ПАВ, а также функции илоотделения на разных стадиях обработки осадков.

Флотационное сооружение состоит из камеры флотации и вспо-могательного оборудования (рис. 6.1). По форме камеры флотации бывают прямоугольные или круглые в плане глубиной не более 3 м. Внутри камеры размещены устройства распределения поступающей на очистку воды и водовоздушной смеси, направляющие перегородки, устройства для поддержания постоянства положения уровня воды в сооружении, сбора и удаления осадков и флотошлама. В состав вспомогательного оборудования входит установка для насыщения воды воздухом при избыточном давлении 0,3-0,6 МПа.

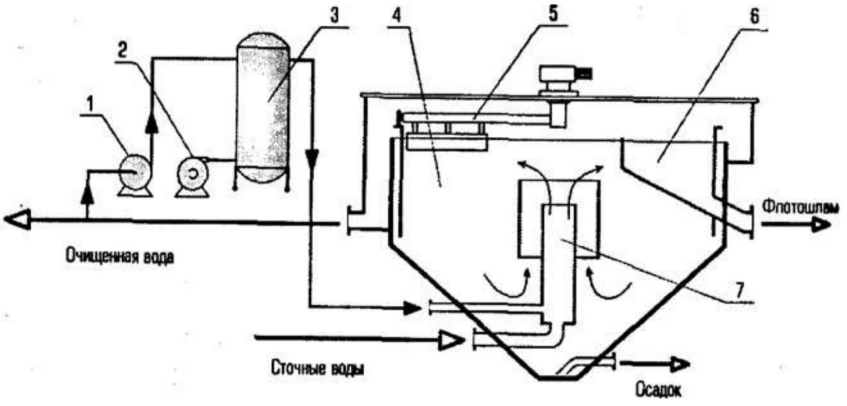


Рисунок 6.1. Схема флотационного сооружения

1 – циркуляционный насос; 2 – компрессор; 3 – напорный бак; 4 – камера флотации; 5 – скребковый механизм; 6 – сборник флотошлама; 7 – система распределения воды и водовоздушной смеси.

Часть потока очищенной воды под давлением подается в напорный бак (сатуратор). Туда же компрессором подают воздух. Возможна также подача воздуха через водовоздушный эжектор, установленный на байпасной линии насоса. Количество подаваемого воздуха зависит от начальной концентрации загрязняющих веществ и может изменяться от 40 до 15 дм^3 на

1 кг извлекаемых веществ при их начальной концентрации соответственно от 0,2 до I г/л. Насыщенная воздухом вода из сатуратора поступает во флотационную камеру, где происходит резкое снижение давления. Выделяющиеся пузырьки воздуха образуют с загрязнениями флотокомплексы, которые всплывают на открытую поверхность флотатора. Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмами или сгребания пены в пеносборник.

Применение флотации после сооружений полной биологической очистки городских сточных вод позволяет существенно улучшить многие показатели качества воды. В *таблице 6.1* приведены данные по флотации биологически очищенных сточных вод.

Кроме того, было отмечено удаление соединений азота на 15-20%, ионов железа на 23-26%, ионов хрома на 11-18%, эфироизвлекаемых веществ на 25-28%.

Показатель	Сточные воды		Средний эффектоочистки, %
	поступающие	очищенные	
Взвешенные вещества, мг/л	8–25	4–12	50
БПК$_5$, мг O_2/л	10–25	4,5–11	55
ХПК, O_2/л	40–110	24–39	45
ПАВ, мг/л	1,5–6,5	0,5–4,2	67

Таблица 6.1. Результаты флотационной обработки городских сточных вод после сооружений полной биологической очистки

Среди других сооружений гравитационного отделения загрязнений флотаторы отличаются большей эффективностью, меньшими размерами, технологической гибкостью и управляемостью. Недостатками являются зависимость от электроснабжения и большее потребление электроэнергии.

6.2. Очистка сточных вод коагулированием

Сточные воды населенных мест содержат 50-60% загрязнений, относящихся по физико-химическим свойствам к коллоидным. Коллоидные дисперсные частицы не осаждаются и не задерживаются обычными фильтрами. Их размер условно находится в интервале 1-100 нм. Они образуют устойчивые системы, по внешним признакам сходные с истинными растворами. Для повышения эффективности очистки сточных вод от коллоидных загрязнений используют реагенты, называемые коагулянтами. Минеральные коагулянты – это гидролизирующиеся соли металлов.

В качестве коагулянтов часто используют сульфат алюминия $A1_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, алюминат натрия $NaAlO_2$ гидроксохлорид алюминия $A1_2(OH)_5C_1$, реже – тетраоксосульфаты алюминия – калия и алюминия – аммония. Широкое распространение получил сульфат алюминия. При коагулировании

сульфат алюминия взаимо- , действует с гидрокарбонатами, имеющимися в воде, или специально добавляемыми щелочными реагентами, образуя малорастворимые основания. В последнее время успешно применяют гидроксохлорид алюминия, для которого требуется меньший щелочной запас воды.

Железосодержащие коагулянты – это прежде всего сульфаты двух- и трехвалентного железа $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$, $Fe(SO)_4 \cdot 3H_2O$ и $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, а также хлорное железо $FeC1_3$. Поскольку железо обладает переходной валентностью, перечисленные реагенты могут применяться не только для коагулирования, но и для проведения реакций окисления-восстановления с последующей седиментацией.

Для интенсификации процессов отделения скоагулированных загрязнений применяют реагенты, называемые флокулянтами. Флокулянты могут быть как неорганическими, так и органическими веществами. В последнее время для очистки сточных вод широко применяются высокомолекулярные соединения (ВМС). Молекула ВМС в воде может быть электронейтральна или нести заряд. В последнем случае вещество будет называться полиэлектролитом. Иногда полиэлектролиты полностью выполняют функции коагулянта и флокулянта.

Технологический комплекс для коагулирования сточных вод включает основные сооружения для смешивания обрабатываемой воды с растворам коагулянта, формирования крупных флокул оседающих соединений, осветления воды, а также вспомогательные сооружения и оборудование для хранения, приготовления и дозирования реагентов.

Для эффективного проведения коагуляции необходимо обеспечить наиболее благоприятные условия для протекания реакций гидролиза коагулянтов, взаимодействия с загрязнениями и формирования прочных хлопьев осадка. Поэтому смешение коагулянта с водой должно происходить так, чтобы сразу образовывалось большое количество мелких агрегатов, которые впоследствии станут центрами кристаллизации малорастворимых соединений.

Коагулянты смешивают с обрабатываемой сточной водой в смесителях. По конструктивным особенностям смесители бывают перегородчатые, дырчатые, шайбовые и вертикальные. Процесс формирования флокул осуществляют в камерах хлопьеобразования. По виду движения потока камеры хлопьеобразования могут быть водоворотные, перегородчатые, вихревые, а также с механическим перемешиванием.

Отделение сформировавшейся дисперсной системы гидролизованного коагулянта и загрязнений происходит, как правило, в отстойниках вертикального, горизонтального или радиального типа. Возможно применение для этих целей флотаторов и осветлителей.

В технологии коагулирования городских сточных вод используют разные схемы, обеспечивающие наилучшие результаты очистки в конкретных условиях. Главные отличия этих схем заключаются в выборе точек ввода реагентов в технологической цепочке сооружений и режимов их подачи. Для очистки городских сточных вод наиболее целесообразной является двухступенчатая схема отстаивания сточных вод. На I ступени осуществляется отстаивание в первичном отстойнике без коагулянта, на II ступени – обработка сточных вод коагулянтами и флокулянтами с последующим осветлением в отстойнике или флотаторе. На *рисунке 6.2* дан пример технологического комплекса коагулирования сточных вод, выполненного в виде моноблока сооружений.

Истинно растворенные и коллоидные органические загрязнения городских сточных вод характеризуются многообразием компонентов.

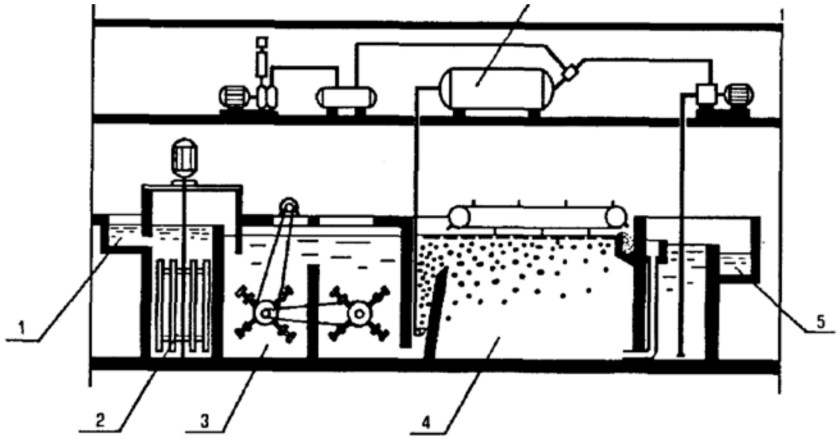


Рисунок 6.2. Комбинированное сооружение физико-химической очистки сточных вод

1 – подводящий канал сточных вод; 2 – механический смеситель; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – флотатор; 5 – отводящий канал очищенной воды; 6 – система приготовления водовоздушной смеси

Изучение состава растворенных органических загрязнений показало, что 62-66% соединений относятся к группе органических кислот, 8,2-9,6% проявляют свойства оснований, а 28,4-34,0% нейтральны. С учетом адсорбции загрязнений на гидроксидах коагулированием удаляется 30-40% общей массы органических веществ, находящихся в растворе. Наибольшая эффективность очистки воды достигается по органическим основаниям (до 70%), наименьшая – по органическим кислотам (до 20%).

Соединения фосфора, находящиеся в растворенном состоянии, в процессе коагулирования образуют малорастворимые фосфаты алюминия, железа или кальция и выпадают в осадок. Сложные и нерастворимые формы фосфора удаляются путем сорбции на хлопьях гидроксидов.

Удаление тяжелых металлов происходит в результате сорбции и осаждения их гидроксидов, полнота которого зависит от pH сточной воды и свойств самих металлов.

Таким образом, в процессе коагулирования и последующего отделения осадков и* сточных вод могут быть достаточно полно удалены не только взвешенные вещества, но и органические коллоидные загрязнения, неко-

Фото 6.1. Очистные сооружения сточных вод г. Варшавы (Польша)

торые растворенные загрязнения, в том числе обладающие поверхностно-активными свойствами, соединения фосфора, соли тяжелых металлов и т.д. Очистные сооружения сточных вод г. Варшавы (Польша) на *фото 6.1*.

Применение флотации для отделения скоагулированных загрязнений наряду с увеличением скорости извлечения загрязнений повышает эффективность очистки воды по взвешенным веществам, ПАВ, ХПК. В *таблице 6.2* приведены результаты коагулирования городских сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, с последующей флотацией. В качестве коагулянта использовано хлорное железо в количестве 0,5-1,0 мг-экв/л. Продолжительность обработки воды в компрессионном флотаторе – 20 мин.

Показатель	Сточные воды		Средний эффект очистки, %
	поступающие	очищенные	
Взвешенные вещества, мг/л	18–40	6–10	71
$БПК_5$, мг O_2/л	20–35	4,5–11	73
ХПК, мг O_2/л	90–170	35–70	60
ПАВ, мг/л	4–20	1,3–6	70

Таблица 6.2. Результаты доочистки сточных вод коагулированием с последующей флотацией

Коагулирование с последующим отстаиванием практически неэффективно в отношении удаления аммонийного азота. К другим недостаткам метода относятся необходимость применения реагентов и увеличение объемов отделяемых осадков.

6.4. Адсорбционная очистка сточных вод

Сорбция – это равновесный динамический процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым веществом, жидкостью или газом. Поглощающее вещество называется сорбентом, а поглощаемое – сорбатом. Сорбция веществ поверхностным слоем твердого сорбента называется адсорбцией.

Сорбционные методы относятся к наиболее эффективным для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно или совместно с другими методами предварительной и глубокой очистки сточных вод.

В качестве сорбентов на городских очистных сооружениях применяют природные материалы, отходы некоторых производств и активные угли. Природные пористые материалы, такие, как торф, активные глины и производственные отходы – зола, коксовая мелочь, силикагели, алюмогели и др., обладают малой сорбционной емкостью и высоким сопротивлением фильтрации. Сорбционная емкость – это масса поглощенных загрязнений, приходящаяся на единицу объема или массы сорбента (кг/м^3, кг/кг).

Сорбенты, используемые для очистки сточных вод, могут быть нерегенерируемыми и регенерируемыми. В последнем случае они подвергаются восстановлению с использованием регенеративной технологии, когда извлеченные вещества утилизируются, или деструктивной, при которой извлеченные вещества уничтожаются.

Для регенерации активных углей используют термические, химические или биологические методы. Летучие органические вещества удаляют высокотемпературной десорбцией воздухом (120-140°С), паром (200-300°С) или дымовыми газами (300-500°С). При химической регенерации органические соединения удаляют промывкой растворами кислот или щелочей. Биологическая регенерация состоит в биохимическом окислении органических веществ в течение 10-20 ч. В зависимости от назначения сорбционной очистки применяются различные методы регенерации сорбента или его уничтожения.

Эффективными сорбентами, используемыми в технологии очистки городских сточных вод, являются гранулированные активные угли различных марок. Наибольшее распространение адсорбция получила на заключительных стадиях очистки сточных вод. Обусловлено это тем, что в составе поступающих сточных вод могут содержаться стойкие органические соединения, сброс которых со сточными водами ограничен.

Процесс сорбции осуществляют путем фильтрования сточных вод через слой плотно уложенного сорбента. После сооружений биологической очистки применяют безнапорные фильтры. Скорость фильтрования зависит от

концентрации растворенных в сточных водах органических веществ и изменяется в пределах 1-12 м/ч при крупности зерен сорбента 0,8-5 мм. Наиболее рациональное направление фильтрования – снизу вверх, так как в этом случае происходит равномерное заполнение всего сечения фильтра и относительно легко вытесняются пузырьки воздуха и газов, попадающих в слой сорбента вместе со сточной водой. Если вынос взвешенных веществ после биологической очистки превышает 10 то для предотвращения заиливания адсорбционного фильтра перед ним устанавливают фильтр с зернистой загрузкой.

В процессе адсорбционной доочистки из воды удаляются био-химически стойкие органические вещества, микроколичества ионов тяжелых металлов, радиоактивных изотопов, ртути, остаточный хлор, аммонийный азот, бактериальные и другие загрязнения. Ориентировочно принимается, что 1 кг угля снимает около 0,5 кг загрязнений, оцениваемых по ХПК. Результаты адсорбционной доочистки сточных вод приведены в *таблице 6.3*.

В процессе длительной работы адсорбционных фильтров на поверхности зерен загрузки образуется биопленка, которая нарушает их нормальную работу, увеличивает потери напора. Вместе с тем нарастающая биопленка способствует более глубокой очистке воды по ВПК и содержанию азота. Это явление было положено в основу разработки сооружения для глубокой очистки сточных вод – биосорбера.

Показатель	Сточные воды		Средний эффект очистки, %
	поступающие	очищенные	
Взвешенные вещества, мг/л	10	1	90
$ХПК_{общ.}$, мг O_2/л	47	9,5	80
ХПК фильтрата, мг O_2/л	31	7	77
Общий органический углерод, мг/л	13	2,5	81

Таблица 6.3. Результаты работы адсорбционных фильтров после полной биологической очистки городских сточных вод

В биосорберах сочетаются биохимические и физико-химические процессы, происходящие во взвешенном и плотном слоях активного угля. Схема установки дана на *рисунке 6.3*.

Резервуар заполнен двумя слоями сорбционной загрузки: нижний слой псевдоожиженный, верхний – плотный. Направление движения воды снизу вверх. Скорость движения воды в нижнем слое 9 м/ч, в верхнем 3-5 м/ч. Окислительная мощность биосорбера по ВПК в 1,6-1,8 раза, а по ХПК в 4-6 раз выше окислительной мощности аэротенка. В биосорбере активированный уголь не требует отдельной регенерации.

Исходя из задач очистки сточных вод населенных мест сооружения физико-химической обработки могут быть основой технологического процесса

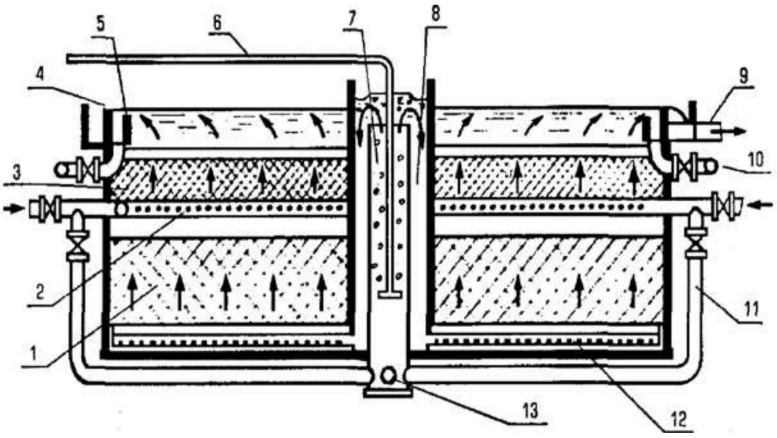


Рисунок 6.3. Биосорбер конструкции ФГУП НИИВодгео

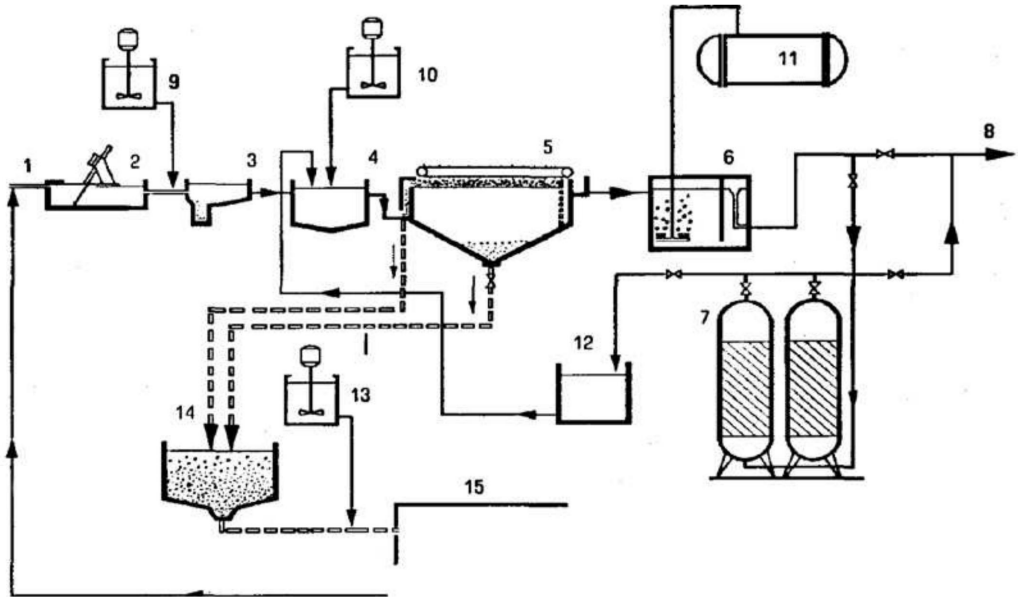
1 – взвешенный слой активного угля; 2 – дренажная система; 3 – плотный слой активного угля; 4 и 5 – водосливы очищенной и промывной воды; 6 – воздуховод; 7 – эрлифт; 8 – камера дегазации; 9 и 10 – отвод очищенной и промывной воды; 11 – циркуляционный трубопровод; 12 – распределительная система подачи воды; 13 – подача сточных вод.

или его частью в сочетании с другими сооружениями, например механической или биологической очистки.

Наиболее простая схема станции физико-химической очистки сточных вод включает коагулирование и отделение скоагулированных загрязнений от воды в процессе отстаивания или флотации. Такая схема может быть реализована в короткий срок на базе как новых, так и старых сооружений механической очистки. В последнем случае относительно небольшие капитальные вложения, необходимые для реконструкции станций механической очистки, позволяют значительно улучшить качество очищенных сточных вод.

Принципиальная схема такой станции очистки сточных вод приведена на *рисунке 6.4*.

Существенное повышение эффективности очистных сооружений обеспечивается также путем сочетания реагентной обработки сточных вод с адсорбционной ступенью очистки – фильтрованием через слой активного угля. Так, при необходимости достижения глубокой очистки сточных вод на очистных сооружениях с ограниченной территорией может быть применен технологический процесс по схеме: коагулирование → флотация → сорбция. Замена отстойников на флотаторы, имеющие зону осаждения тяжелых примесей, в несколько раз уменьшает продолжительность стадии отделения грубодисперсных примесей сточных вод.



1,8 – подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 – решетка; 3 – песколовка; 4 – камера флокуляции; 5 – отстойник-флотатор; 6 – контактная камера; 7 – адсорбционные фильтры; 9 – подача коагулянта; 10, 13 – подача флокулянта; 11 – озонатор; 12 – резервуар грязных промывных вод; 14 – уплотнитель осадка; 15 – фильтр-пресс

Рисунок 6.4. Схема станции с трехступенчатой физико-химической очисткой сточных вод

Очистные сооружения, построенные по этой схеме, обеспечивают эффективность очистки сточных вод населенного пункта по показателям ХПК – 85%, $БПК_5$ – 96, взвешенным веществам – 90 фосфатам – 95, ПАВ – 95, азоту общему – 57%. Эффективность снижения аммонийного азота существенно зависит от материала загрузки адсорбционных фильтров.

При необходимости глубокого извлечения из сточных вод со-единений азота технологические схемы дополняются ступенью очистки, основанной на одном из физико-химических приемов, обладающих избирательным действием, либо на биологическом процессе нитрификации – денитрификации.

Станции очистки сточных вод, сконструированные по более сложным схемам, отличаются высокой интенсивностью и глубиной удаления загрязнений по всем основным показателям. В ряде случаев это позволяет использовать очищенные сточные воды в оборотных системах промышленных предприятиях и сельском хозяйстве. Схемы таких очистных сооружений, как правило, сочетают методы механической, физико-химической и био-

логической очистки воды. Причем технологические последовательности и сочетания их могут быть различными.

Поскольку физико-химические методы очистки сточных вод основаны на привлечении дополнительной энергии из внешних источников, затраты на их осуществление выше по сравнению с методами, в которых используется собственная энергия системы (механическими и частично биологическими).

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКА

Глава 7.

7.1. Септики, двухъярусные отстойники и осветлители–перегниватели

Септики представляют собой прямоугольные или круглые в плане проточные резервуары, в которых происходит осветление сточной жидкости и сбраживание выпавшего осадка.

Время пребывания сточной жидкости в септике 1-3 сут, а время сбраживания выпавшего осадка 6-12 мес.

Септики применяют для обработки только малых количеств сточной жидкости – не более 25 $м^3$/сут.

После септика сточная жидкость может направляться на поля подземной фильтрации, на песчано-гравийные фильтры, в фильтрующие траншеи и колодцы. Двухъярусные отстойники служат для осветления сточной жидкости и сбраживания выпавшего осадка. Их применяют при производительности очистной станции до 10 000 $м^3$/сут.

Двухъярусный отстойник имеет в верхней части проточные желоба, а в нижней – септическую камеру. Сточная жидкость поступает в проточные желоба, которые работают как горизонтальные отстойники. Осаждающиеся частицы через щели попадают в септическую камеру. Сброженный осадок удаляется по иловой трубе под гидростатическим напором.

Осадок в септической камере сбраживается под влиянием анаэробных бактерий. Процесс разложения протекает в две фазы. В первой фазе органические вещества (белки, жиры, углеводы) распадаются до кислот жирного ряда. Во второй фазе кислоты жирного ряда расщепляются с образованием метана, углекислоты и сероводорода. Сероводород связывается с железом, образуя сернистое железо. Обычно процесс разложения протекает в щелочной среде и длится 2-6 мес. За этот период разлагается до 40-50% органического вещества.

Расчет двухъярусного отстойника состоит в определении раз-меров проточных желобов и септических камер. Проточные желоба рассчитывают по тем же нормативам, что и горизонтальные отстойники. Объем септи-

ческой камеры зависит от расчетного числа жителей и определяется с учетом среднезимней температуры сточных вод:

Таблица 7.1.

Среднезимняя температура сточных вод, °С	6	7	8,5	10	12	15	20
Объем септической камеры	110	95	80	65	50	30	15

Высота нейтрального слоя от щели желоба до уровня осадка в септической камере принимается равной 0,5 м.

По очертанию в плане различают круглые и прямоугольные двухъярусные отстойники. Первые применяют чаще.

Для осветления сточной жидкости и сбраживания выпавшего осадка служит также **осветлитель–перегниватель** (рис.7.4). Он состоит из осветлителя с естественной аэрацией и концентрически расположенного вокруг него перегнивателя. Сточная жидкость по лотку *1* направляется в

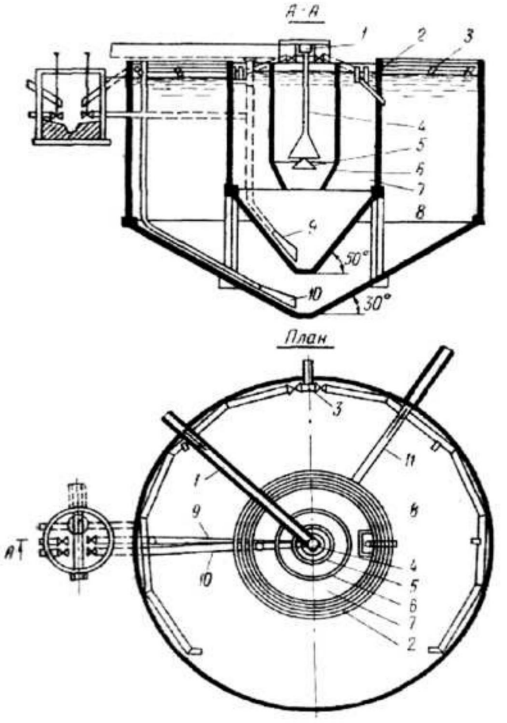


Рисунок 7.1.
Метантенк станции аэрации

1 – смотровой люк; 2 – газопровод от газового колпака; 3– пропеллерная мешалка; 4 – переливная труба; 5 – трубопровод для загрузки сырого осадка и активною ила; 6 – инжектор для подачи пара в метантенк, 7 – трубопровод для выгрузки сброженного осадка из конусной части метантенка

центральную трубу *4* с отражательным щитом *5*. Напор 0,6 м – разность уровней воды в лотке и в осветлителе – обеспечивает движение жидкости в центральной трубе со скоростью 0,5-0,7 м/с, что способствует засасыванию воздуха из атмосферы. Водовоздушная смесь попадает в камеру флокуляции *6*, где находится примерно 20 мин, а затем поступает в отстойную зону *7*, где поддерживается слой взвешенного осадка путем обеспечения определенной скорости протекания жидкости. Осветленная жидкость собирается лотком *2* и отводится по трубе *11*.

Осадок по трубе *9* направляется в приемный резервуар насосной станции, а оттуда перекачивается в перегниватель *8* по трубе *3* с распределительными отростками.

Для перемешивания осадка его забирают из перегнивателя по трубе *10* в приемный резервуар насосной станции и затем снова направляют в перегниватель по трубе *3*.

7.2. Метантенки

Метантенк представляет собой круглый или прямоугольный в плане резервуар, служащий для сбраживания осадка из отстойников и избыточного активного ила.

Для интенсификации анаэробного процесса разложения осадка его подогревают и перемешивают. Подогревать осадок можно ост-рым паром, впускаемым в метантенк с помощью эжектора, или паром, вводимым во всасывающую трубу насоса, который подает осадок в метантенк. Перемешивают осадок мешалками, гидроэлеваторами и насосами, забирающими осадок из нижней части и подающими его в верхнюю; часть метантенка.

Процесс разложения органического вещества осадка протекает в метантенках так же, как и в септической камере двухъярусного отстойника, но с большей интенсивностью благодаря подогреву и перемешиванию.

Различают мезофильное и термофильное брожение. При мезофильном брожении в метантенке поддерживается температура 33°С, при термофильном – 53°С.

Выбор режима сбраживания производится на основании технико-экономических расчетов, санитарно-эпидемиологических требований и метода дальнейшей обработки осадка. Количество образующихся при сбраживании газов (метана и углекислоты) зависит от количества и состава осадка, а интенсивность их выделения – от температуры брожения и режима загрузки метантенка свежими порциями осадка. В метантенках степень распада органического вещества составляет в среднем 40%. Наибольшему распаду подвергаются жироподобные вещества и углеводы.

Объем метантенка зависит от влажности загружаемого осадка и температуры сбраживания. Определяется он по суточной дозе загружаемого осадка (дозе загрузки). Под дозой загрузки понимают процентное отношение количества ежесуточно загружаемого осадка к полезному объему метантанков.

Объем метантенков, м^3, определяют по формуле

$$V = c*100/p \qquad (7.1)$$

где c – количество осадка, загружаемого в метантенк, м^3/сут;

p – суточная доза загрузки осадка,%.

Кроме определения объема метантенка необходимо рассчитать вспомогательные устройства, приспособления для перемешивания н подогрева осадка, газовое хозяйство и пр.

По конструкции различают метантенки с неподвижным затопленным перекрытием, с неподвижным незатопленным перекрытием и с подвижным, или плавающим, перекрытием. Наибольшее распространение получили метантенки с неподвижным незатопленным перекрытием (рис. 7.2).

Газ, выделившийся в метантенках, собирают и сжигают в котельных установках или используют в качестве горючего для газобаллонных автомобилей. Пар, получаемый в котлах, служит для подогрева осадка в метантенках и отопления производственных помещений станций.

На крупных станциях для регулирования давления в газовой сети и для аккумулирования газа устраивают мокрые газгольдеры, объем которых рассчитывают на хранение 2-4 часового расхода газа.

На станциях большой производительности применяется непрерывная загрузка и выгрузка осадка.

Наиболее рациональной является эксплуатация метантенков по прямоточной схеме, при которой загрузка и выгрузка осадка происходят одновременно и непрерывно. Такой режим создает благо приятные температурные условия в метантенке, так как исключает охлаждение бродящей массы от залповых поступлений более холодного сырого осадка и ила и обеспечивает равномерное газовыделение в течение суток. Осадок подается через дозирующую камеру в верхнюю зону метантенков и выгружается из конусной части днища.

Получили распространение, особенно за рубежом, двухступенчатые метантенки. Они применяются при соответствующем обосновании на станциях производительностью до 50 000 м^3/сут. Метантенки первой ступени проектируются как обычные метантенки для сбраживания осадков в условиях мезофильного режима. Метантенки второй ступени устраиваются в

виде открытых неподогреваемых резервуаров. Основной задачей метантенков второй ступени является уплотнение осадков и отделение твердой фракции от иловой воды.

Наряду с анаэробным сбраживанием осадка в метантенках применяют аэробную стабилизацию его. Такой вид обработки рекомендуется для активного ила или его смеси с осадком первичных отстойников на очистных станциях производительностью до 50 000 м^3/сут.

Особенно перспективно применение аэробной стабилизации на станциях с небольшим расходом сточных вод при невысокой концентрации взвешенных веществ в воде. В этом случае значительно упрощается схема станции, так как из нее исключаются первичные отстойники. Единственным осадком, образующимся на станции, является избыточный активный ил, минерализацию которого осуществляют в аэробных условиях в минерализаторах.

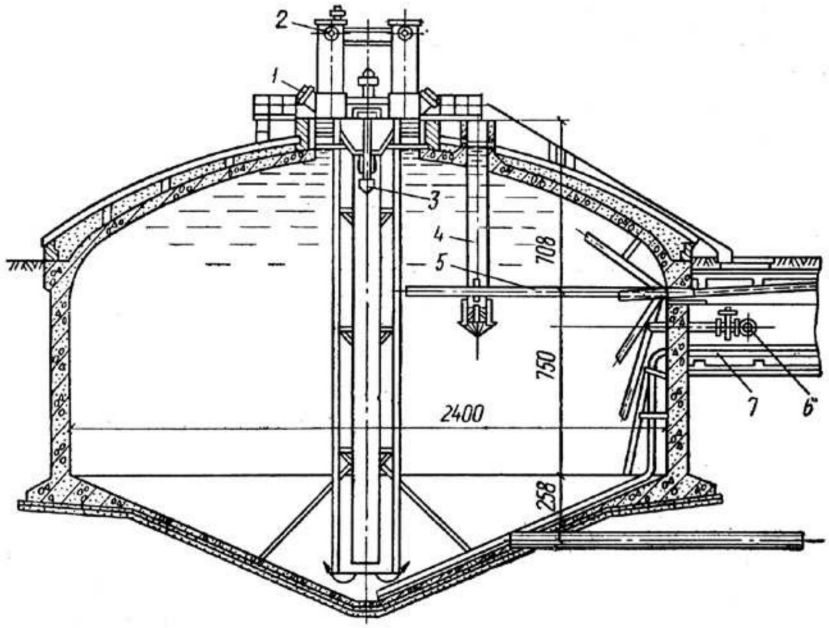


Рисунок 7.2. Метантенк с неподвижным незатопленным перекрытием станции аэрации

1 – смотровой люк; 2 – газопровод от газового колпака; 3 – пропеллерная мешалка; переливная труба; 5 – трубопровод для загрузки сырого осадка и активного ила; 6 – инжектор для подачи пара в метантенк; 7 – трубопровод для выгрузки сброженного осадка из конусной части метантенка

Для более крупных станций возможно применение схемы, в которой избыточный активный ил подвергается аэробной стабилизации, а осадок сбраживается в метантенках. Сочетание двух вариантов обработки осадка приводит к значительному сокращению объема метантенков и позволяет полностью обеспечить их теплом за счет сжигания образующегося газа.

7.3. Иловые площадки

Иловые площадки, служащие для обезвоживания осадков, представляют собой спланированные земельные участки, разделенные на карты земляными валиками (рис. 7.3).

Осадок влажностью 90-97%, чаще всего 97% (сброженный осадок из метантенков), периодически разливают на отдельные карты размером (10... 40) × (60... 120) м и подсушивают. Высота слоя осадка, напускаемого на карту за один раз, составляет 0,2-0,25 м. Подсушенный осадок имеет влажность 75-80%.

Иловые площадки устраивают обычно на естественном основании при глубине залегания грунтовых вод не менее 1,5 м от поверх карт. При недостатке территории, а также при залегании грунтовых вод на глубине менее 1,5 м на площадках устраивают трубчатый дренаж. Трубы укладывают в канавы, заполненные щебнем или гравием с крупностью частиц 2-6 см. Расстояние между дренажными канавами принимают равным 6-8 м. Минимальная глубина канавы 0,6 м, уклон 0,003.

Подсушенный осадок используют в качестве удобрения. Для сбора осадка применяют скрепер или бульдозер. Собранный осадок грузят в автомобили с помощью экскаватора. В зимнее время замерзший осадок раскалывают на глыбы и вывозят на поля.

Размеры иловых площадок назначают в зависимости от количества напускаемого осадка, характеристики его (сырой или сброженный) и климатических условий. Норма нагрузки осадка на 1 $м^2$ площади зависит от вида осадка, климатических условий, наличия или отсутствия дренажа и составляет в среднем 0,8-2 $м^3$ в год. Действительная площадь принимается на 20-40% больше полезной, так как часть площади необходима для устройства дорог, валиков и канав.

В зимний период осадок намораживается, причем под намораживание отводится 80% площади, а 20% предназначается для использования в период весеннего таяния намороженного осадка. Высота слоя намораживания должна быть на 0,1 м менее высоты ограждающих валиков.

Для очистных станций производительностью более 10 000 $м^3$/сут устраивают иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды в виде каскада прудов, где происходит уплотнение осадка и удаление выделившейся иловой воды с поверхности. Каскадные иловые пруды имеют 4-7 ступеней. В каждой ступени устраивается 4-8 карт. Полезная площадь одной карты составляет 0,25-1 га. Ширину карты принимают в пределах 30-80 м, длину 80-160 м. Высота оградительных валиков до 2,5 м.

Выделившуюся иловую воду собирают и перекачивают на очистные сооружения. Количество иловой воды составляет 30-50% объема обезвоживаемого осадка.

Возможно также устройство иловых площадок-уплотнителей – резервуаров с водонепроницаемыми днищем и стенками рабочей глубиной до 2 м. Отделившуюся иловую воду удаляют через перекрываемые шиберами отверстия, которые устраиваются в стенках на разной высоте.

Ширину карт принимают в пределах 9-18 м, а расстояние между выпусками – не более 18 м. Для возможности механизированной уборки высушенного осадка устраиваются пандусы.

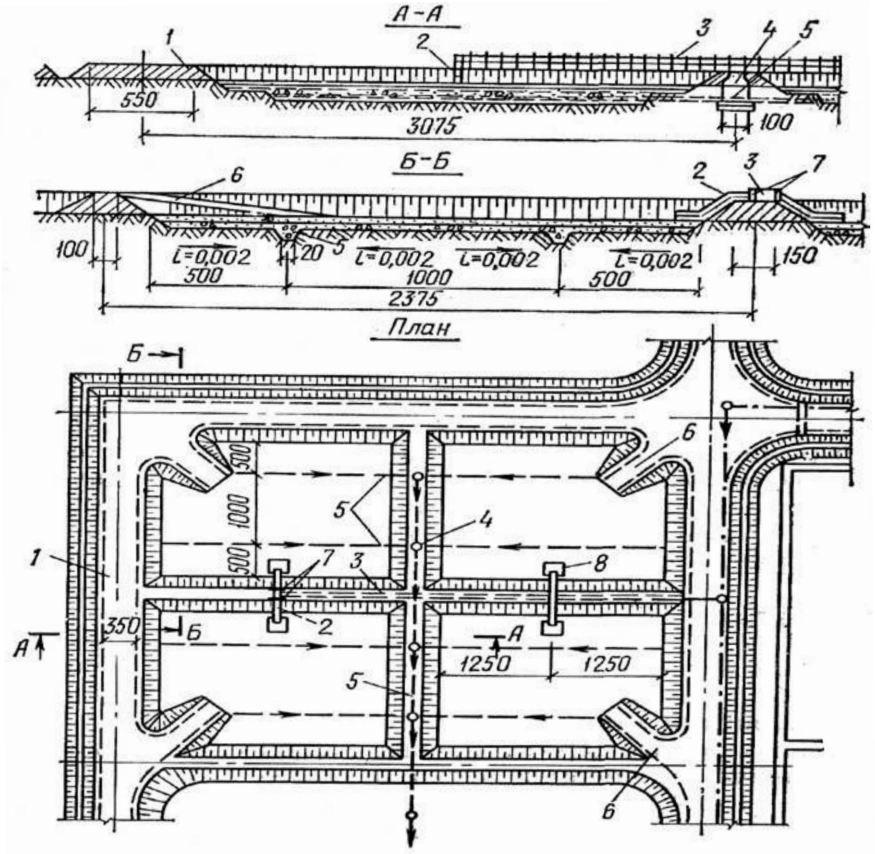


Рисунок 7.3.
Иловые площадки

7.4. Сооружения для механического обезвоживания осадка, его термической сушки и сжигания

Для сушки осадка на иловых площадках, особенно на крупных очистных станциях, требуются большие земельные площади. В связи с этим в пос-

леднее время находит все большее распространение механическое обезвоживание осадков: вакуум-фильтрование, центрифугирование и фильтр-прессование. Метод механического обезво-живания осадка выбирают с учетом его физико-химических свойств.

Механическое обезвоживание сброженного осадка на очистных станциях большой производительности чаще всего осуществляют на вакуум-фильтрах. Вакуум-фильтр (рис. 7.4) представляет собой горизонтальный цилиндрический барабан, обтянутый капроновой или хлорвиниловой фильтрующей тканью. Барабан, разделенный на несколько секторов и частично погруженный в корыто со сброженным осадком, медленно вращается. В секторах его, погруженных в корыто, вакуум-насосом создается вакуум, в результате чего осадок прилипает к фильтрующей ткани, а вода, пройдя через ЭТУ ткань, попадает внутрь барабана, откуда отводится по трубе. Осадок отделяется от ткани ножом. Для облегчения съема осадка в зоне расположения ножа компрессором создается повышенное давление. Обезвоженный осадок имеет влажность 78-80%.

Размеры барабана вакуум-фильтра определяются по количеству обрабатываемого осадка с учетом производительности фильтра, которая принимается в среднем равной 20-25 кг сухого осадка па 1 м^2 поверхности фильтра в 1 ч.

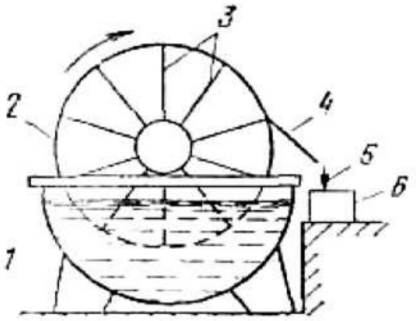


Рисунок 7.4. Схема вакуум-фильтра

1 – обезвоживаемый осадок, 2 – барабан; 3 – радиальные перегородки; 4 – нож, 5 – обезвоженный осадок, 6 – транспортер для осадка

промывают технической водой из расчета 1-4 м^3 воды на 1 м^3 осадка в течение 15-20 мин и продувают воздухом, который подают в объеме 0,5 м^3 на 1 м^3 смеси осадка и воды. Затем эту смесь направляют в уплотнители, где она уплотняется под действием собственного веса в течение 12-18 ч. Отделившаяся вода содержит много загрязнений и подается на очистку.

Из илоуплотнителя осадок влажностью 94-96% направляется в резервуар уплотненного осадка, откуда перекачивается плунжерными насосами. Перед подачей на вакуум-фильтр осадок подвергается коагулированию. В

качестве реагентов обычно применяют хлорное железо или сернокислое окисное железо и негашеную известь.

В последние годы получает распространение способ обезвоживания на вакуум-фильтрах сырого осадка; при этом исключается его сбраживание в метантенках. Сырой осадок из первичных отстойников подается насосами в резервуар – регулятор расхода осадка, откуда в смеси с химическими Осадок или смесь осадка с активным илом подвергают перед вакуум-фильтром предварительной обработке (рис. 7.5): реагентами поступает на вакуум-фильтр. При обезвоживании сырого осадка быстро заиливается фильтровальная ткань, поэтому вакуум-фильтры должны иметь устройства для ее непрерывной регенерации.

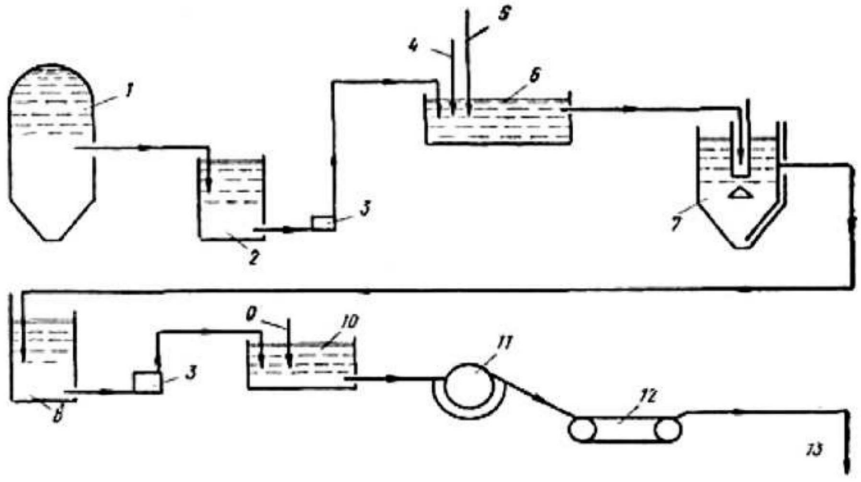


Рисунок 7.5. Схема подготовки осадка к механическому обезвоживанию

1 – метантенк; 2 – сборный резервуар; 3 – плунжарный насос; 4 – подача воды; 5 – подача сжатого воздуха; 6 – промывка осадка; 7 – уплотнитель; 8 – резервуар уплотненного осадка; 9 – подача коагулянта; 10 – отделение коагулирования; 11 – вакуум фильтр; 12 – транспортер; 13 – подача в отделение термической сушки

Для уничтожения яиц гельминтов в обезвоженном сыром осадке его необходимо подогревать до температуры 60°С, т.е. обрабатывать термически.

Применение метода вакуум-фильтрования затрудняется сложностью подготовки осадка к обезвоживанию, большим расходом реагентов, коррозией трубопроводов и оборудования.

Для исключения этих затруднений в ряде стран осадок перед вакуум-фильтрованием подвергают тепловой обработке, заключающейся в прогревании его паром в реакторе в течение определенного времени при температуре 160-200°С.

Осадок поступает в реактор после частичного предварительного нагревания в теплообменнике. Нагретый в реакторе осадок возвращается в теплообменник и отдает часть своего тепла подаваемому в него холодному осадку. После уплотнения осадок обезвоживается на вакуум-фильтре.

Одним из существенных достоинств этого способа подготовки осадка является обеспечение полной стерильности его. При обезвоживании такого осадка на вакуум-фильтре образуется кек влажностью 55-70%, что позволяет исключить термическую сушку осадка.

К недостаткам этого способа относятся сложность конструкции и высокая концентрация органических веществ в иловой воде, которую необходимо направлять на биологическую очистку.

В последние годы для обезвоживания осадков сточных вод все шире применяются непрерывно действующие осадительные горизонтальные **центрифуги** со шнековой выгрузкой обезвоженного осадка. Влажность обезвоженного осадка составляет 50-80%.

Схема устройства центрифуги показана на *рисунке 7.6*.

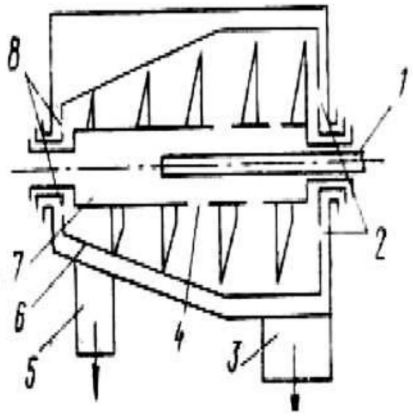


Рисунок 7.6. Схема устройства центрифуги типа ОГШ

1 – труба для подачи осадка; 2 – отверстия для выгрузки фугата; 3 – бункер для сбора фугата; 4 – отверстия для поступления осадка в ротор; 5 – бункер для сбора кека; 6 – ротор; 7 – полый шнек; 8 – отверстия для выгрузки кека

Основными элементами ее являются конический ротор со сплошными стенками и шнек с полым валом. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежной силы твердые частицы отбрасываются к стенкам ротора и вследствие разности частоты вращения ротора и шнека перемещаются к отверстиям, в роторе, через которые обезвоженный: осадок попадает в бункер кека. Образовавшаяся в результате осаждения твердых частиц жидкая фаза (фугат) отводится через отверстия, расположенные с противоположной стороны ротора.

Для обезвоживания осадка применяют также **фильтр–прессы** типа ФПАКМ. Схема устройства этого пресса представлена на *рисунке 7.7*. Фильтр состоит из нескольких фильтровальных плит и фильтрующей ткани, протянутой между ними с помощью направляющих роликов. Поддерживающие плиты связаны между собой четырьмя вертикальными опорами, воспринимающими нагрузку от давления внутри фильтровальных плит.

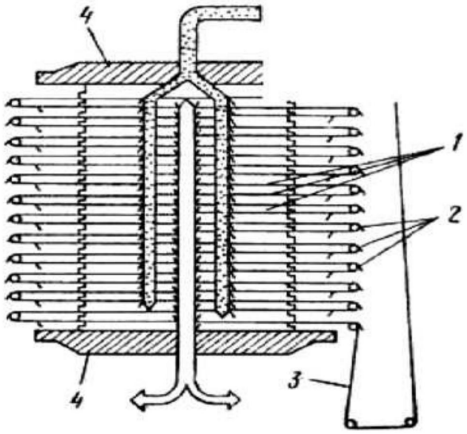


Рисунок 7.7. Схема устройства автоматизированного фильтр-пресса с горизонтальными камерами (ФПАКМ)

1 – фильтровальные плиты; 2 – направляющие ролики; 3 – фильтровальная ткань; 4 – поддерживающие плиты

Для термической обработки осадка существует несколько аппаратов: сушилки барабанного типа, пневматические сушилки, сушилки с кипящим слоем.

Барабанная сушилка (рис. 7.8.) состоит из топки *1*, барабана *3*, загрузочной *2* и выгрузочной *4* камер. При частоте вращения барабана О 5-4 мин. подсушиваемый осадок медленно передвигается к выгрузочной камере.

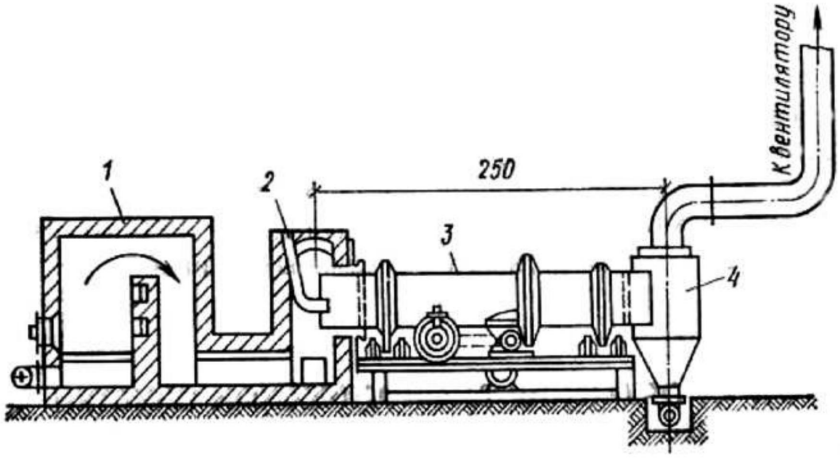


Рисунок 7.8. Барабанная сушилка

Подаваемые в барабанную сушилку газы имеют температуру 700-800°С. Выходящие газы имеют температуру 250°С и могут использоваться для подогрева осадка в скрубберах или теплообменниках После термической сушки влажность осадка составляет 30-35%, и его можно использовать в качестве удобрения.

Пневматическая сушилка, представляет собой вертикальную трубу-шахту, через которую непрерывным потоком нагнетаются горячие дымовые газы. Шахта помещается над мельницей-дробилкой, где осадок дробится до порошкообразного состояния. Порошок подхватывается током газов и уносится в трубу, где сушка его происходит мгновенно. Вместе G газом уносится испарившаяся влага.

Для сжигания осаков в ряде стран широко применяются **многоподовые печи**. Принципиальная схема многоподовой печи приведена на *рисунке 7.9*.

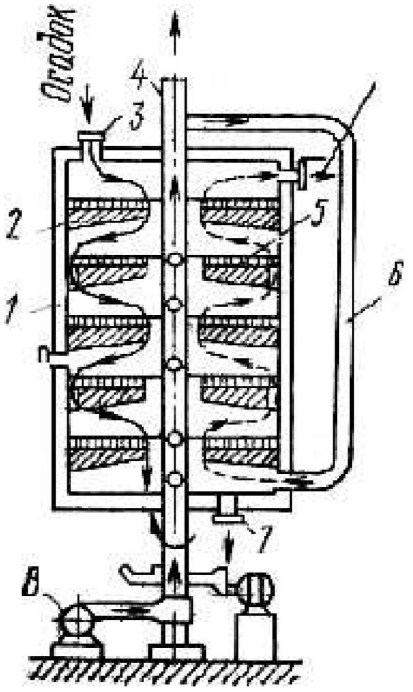


Рисунок 7.9. Схема многоподовой печи для сжигания осадка

1 – корпус печи; 2 – огнеупорный под; 3 – загрузочное устройство; 4 – вращающийся вал; 5 – скребковые мешалки; 6 – рециркуляционный трубопровод; 7 – отверстие для выгрузки золы; 8 – воздуходувка

Корпус печи выполнен в виде стального цилиндра диаметром от 1 до 7 м, внутренняя поверхность которого футерована огнеупорным материалом. К вертикальному вращающемуся валу над каждым подом прикреплены радиальные скребковые мешалки. Осадок подается на верхний под, пере-

мешивается мешалками, сдвигается ими к центральному отверстию пода и попадает на нижележащий под. Перемещение осадка по этому поду идет в противоположном направлении, На следующий под осадок попадает через кольцевое отверстие, расположенное на периферии пода. В средней зоне печи осадок сгорает. Воздух нагнетается воздуходувкой через вал. По рециркуляционному трубопроводу нагретый до 200°С воздух возвращается в зону сгорания. На нижних подах зола охлаждается и выгружается в зольный бункер.

Глава 8. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД И ВЫПУСК В ВОДОЕМ

8.1. Обеззараживание сточных вод

Обеззараживание сточных вод имеет целью уничтожение оставшихся в них патогенных бактерий и снижение эпидемиологической опасности при сбросе в поверхностные водоемы. Запрещается сброс в водные объекты сточных вод, содержащих возбудителей инфекционных заболеваний. Стоки, опасные в эпидемиологическом отношении, допустимо сбрасывать в водоем только после их очистки и обеззараживания. При этом количество лактозоположительных кишечных палочек (индекс Л КП) в сточной воде не должно превышать 1000 кл/дм^3.

Из опыта очистки сточных вод известно, что при первичном отстаивании общее количество бактерий снижается на 30-40%, а после ступени биологической очистки (на биофильтрах или аэротенках) – на 90-95%. Это доказывает необходимость применения специальных методов обеззараживания очищенных сточных вод для обеспечения их эпидемиологической безопасности.

Применяемые в настоящее время методы обеззараживания воды можно разделить на две основные группы – химические и физические. К химическим методам относятся окислительные и олигодинамические (воздействие ионами благородных металлов); в качестве окислителей используют хлор, диоксид хлора, озон, марганцовокислый калий, перекись водорода, гипохлориты натрия и кальция; к физическим методам – термическая обработка, ультрафиолетовое облучение, воздействие ультразвуком, облучение ускоренными электронами и у-лучами. Выбор метода обеззараживания осуществляется на основании данных о расходе и качестве очищенных сточных вод, условиях поставки и хранения реагентов и условий энергоснабжения, наличия особых требований

8.2. Обеззараживание воды хлорированием

Наибольшее распространение получил метод хлорирования сточных вод. Бактерицидный эффект хлора и его производных объясняется взаимодействием хлорноватистой кислоты и гипохлоритиона с веществами, входящими в состав протоплазмы клеток бактерий, в результате чего последние гибнут. Однако имеются отдельные виды вирусов, устойчивые к воздействию хлора. Под активным хлором понимают растворенный молекулярный хлор и его соединения – диоксид хлора, хлорамины, органические хлорамины, гипохлориты и хлораты. При этом различают активный свободный хлор (молекулярный хлор, хлорноватистая кислота и гипохлорит-ион) и активный связанный хлор, входящий в состав хлораминов. Бактерицидное действие свободного хлора значительно выше, чем связанного. Хлор вводят в сточную воду в виде растворенного хлор-газа или других веществ, образующих в воде активный хлор. Количество активного хлора, вводимого на единицу объема сточной воды, называется дозой хлора и выражается в граммах на I м^3 (г/м^3).

В соответствии со СНиП 2.04.03-85 расчетную дозу активного хлора, обеспечивающую бактерицидный эффект, следует принимать: после механической очистки сточных вод – 10 г/м^3; после неполной биологической очистки – 5 г/м^3; после полной биологической очистки – 3 г/м^3. При этом уровень остаточного хлора должен быть не менее 1,5 г/м^3, а период не менее 30 мин. Хлор, добавленный к сточной воде, должен быть тщательно перемешан с ней.

Блок обеззараживания очистных сооружений состоит из установки для получения раствора, содержащего активный хлор (хлорной воды), смесителя хлорной воды с обрабатываемой водой и контактного резервуара, обеспечивающего необходимый период обеззараживания.

Хлорирование жидким хлором. Заводы поставляют хлор в баллонах массой до 100 кг и в контейнерах массой до 3000 кг, а также в железнодорожных цистернах вместимостью 48 т; для предотвращения испарения жидкий хлор хранится под давлением 0,6-0,8 МПа.

При растворении хлора в воде происходит его гидролиз:

$$Cl_2 + H_20 \leftrightarrow HClO + HCl.$$

Часть хлорноватистой кислоты НСЮ диссоциирует с образованием гипохлорит-иона OCl^-, который и является обеззараживающим веществом.

Хлорирование жидким хлором – наиболее широко применяемый метод обеззараживания воды на средних и крупных водоочистных станциях.

Ввиду малой растворимости жидкого хлора поступающий реагент предварительно испаряют. Затем хлор-газ растворяют в малом количестве воды, полученную хлорную воду перемешивают с обрабатываемой водой.

Дозировка хлора происходит в фазе газообразного вещества, соответствующие газодозаторы называются хлораторами. Хлораторы разделяются на две основные группы – напорные и вакуумные. Вакуумные хлораторы обеспечивают большую безопасность работы персонала в хлораторной. Применяются хлораторы пропорционального и постоянного расхода, а также автоматические хлораторы, поддерживающие в воде заданную концентрацию остаточного хлора. В нашей стране наибольшее распространение получили вакуумные хлораторы постоянного расхода типа «ЛОНИИ-СТО» (рис. 8.1). Его аналогом, выпускаемым в настоящее время, является хлоратор АХВ-1000 производительностью по хлору от 2 до 12 кг/ч.

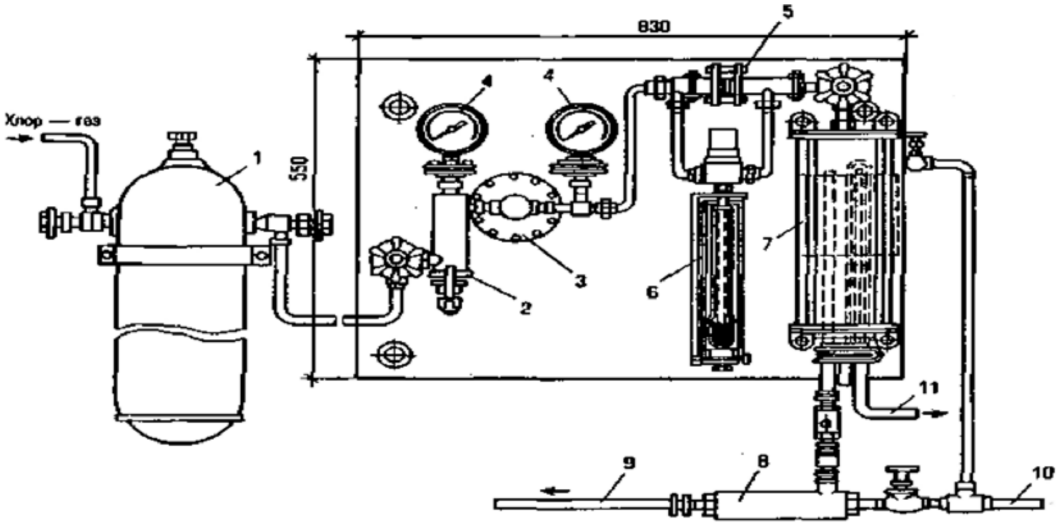
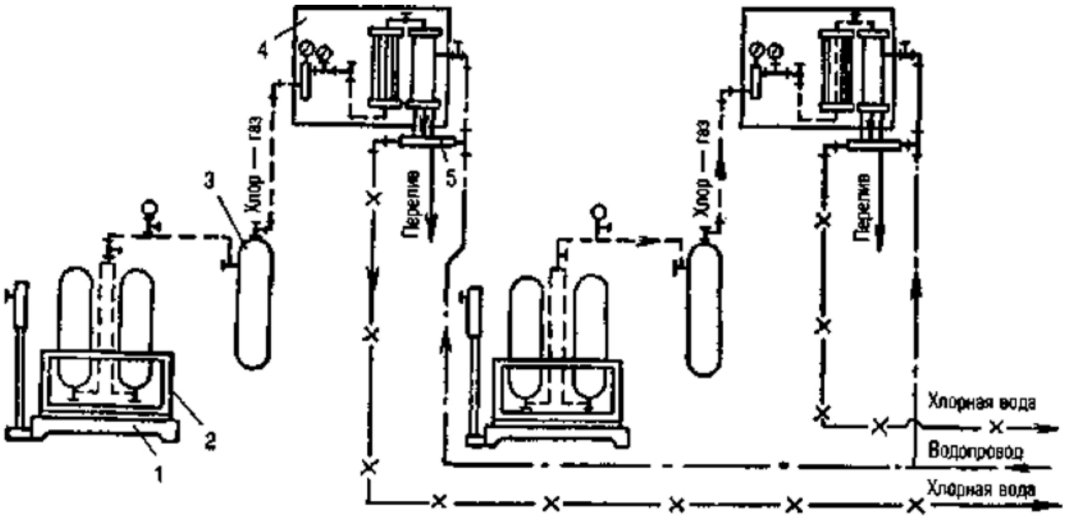


Рисунок 8.1. Хлоратор ЛОНИИ-СТО:
1 – промежуточный баллон; 2 – фильтр; 3 – редуктор; 4 – манометры; 5 – измерительная диафрагма; 6 – ротаметр; 7 – смеситель; 8 – эжектор; 9 – трубопровод хлорной воды; 10 – водопроводная вода; 11 – перелив и опорожнение

Приготовление раствора хлора в воде (хлорной воды) осуществляют в хлораторных (рис. 8.2). Для испарения хлора баллон или контейнер устанавливают на весы, по показаниям которых определяют количество жидкого хлора. Приготовление хлорной воды происходит в смесителе. Необходимый вакуум создается эжектором, с помощью которого хлорная вода подается в смеситель, где смешивается с обрабатываемой водой.



1 – весы; 2 – стойка с баллонами; 3 – грязеуловитель (промежуточный баллон); 4 – хлоратор; 5 – эжектор

Рисунок 8.2. Технологическая схема хлораторной:

Хлорное хозяйство располагается в отдельном здании, где сблокированы склад хлора, испарительная, хлораторная и вспомогательные помещения.

Расходный склад хлора отделен от остальных помещений глухой стеной без проемов. Емкость расходного склада хлора не должна превышать 100 т. Жидкий хлор хранится на складе в баллонах или контейнерах, при суточном расходе хлора более 1 т – в танках вместимостью до 50 т с поставкой хлора в железнодорожных цистернах.

Склад размещают в наземном или полузаглубленном здании с двумя выходами с противоположных сторон здания. В помещении склада необходимо иметь емкость с нейтрализующим раствором сульфита натрия для быстрого погружения в нее аварийных контейнеров или баллонов.

В хлораторных устанавливают дозаторы хлора с необходимой арматурой и трубопроводами. Помещение хлораторной должно быть отделено от других помещений глухой стеной без проемов и иметь два выхода, причем один из них через тамбур. Все двери должны открываться наружу, в помещении должна быть принудительная вытяжная вентиляция с забором воздуха у пола.

Трубопроводы хлорной воды выполняются из коррозионно-стойких материалов. В помещении трубопровод устанавливают в каналах в полу или на кронштейнах, вне здания – в подземных каналах или футлярах из коррозионно-стойких труб.

Использование порошкообразных реагентов. На малых станциях и водоочистных установках целесообразно отказаться от использования жидкого хлора и применить твердые, порошкообразные вещества – хлорную известь $CaCl_2O$ и гипохлорит кальция $Ca(ClO)_2$. Эти вещества менее опасны в обращении, процесс их подготовки и подачи значительно проще – практически аналогичен применению коагулянта.

Товарный продукт $CaC1_2O$ или $Ca(C1O)_2$ растворяют в растворном баке с механическим перемешиванием. Количество баков не менее двух. Затем раствор разбавляют в расходном баке до концентрации 0,5-1% и подают в воду дозаторами растворов и суспензий.

Учитывая коррозионную активность раствора, баки следует изготавливать из дерева, пластмассы или железобетона; из коррозионно-стойких материалов (полиэтилен или винипласт) должны быть также трубопроводы и арматура.

Хлорирование воды гипохлоритом натрия. На очистных станциях, где суточный расход хлора не превышает 50 кг/сут, а транспортировка, хранение и подготовка токсичного хлора связаны с трудностями, можно для хлорирования воды использовать гипохлорит натрия NaClO. Данный реагент получают на месте применения, используя установки электролиза раствора поваренной соли (рис. 8.3).

В растворном баке приготавливается раствор N301, близкий к насыщенному, – 200-310 г/л. Для перемешивания применяют механические устройства, циркуляционные насосы или сжатый воздух.

Электролизеры могут быть проточного или непроточного типа, наиболее широко используют последние. Они представляют собой ванну с установленным там пакетом пластинчатых электродов. Электроды, как правило, графитовые, присоединенные к источнику постоянного тока.

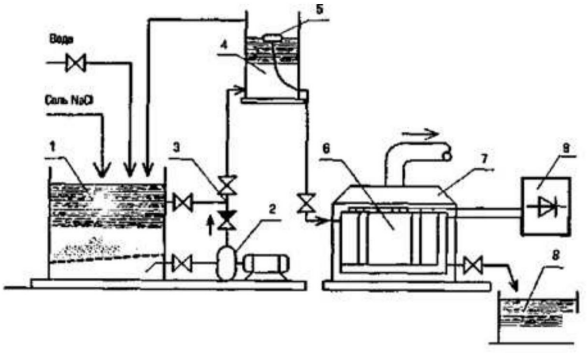


Рисунок 8.3. Схема установки для получения гипохлорита натрия электролизом:

1 – растворный бак; 2 – насос; 3 – распределительный тройник; 4 – рабочий бак; 5 – поплавок-дозатор; 6 – электролизер; 7 – зонт вытяжной вентиляции; 8 – бак-накопитель гипохлорита натрия; 9 – источник постоянного тока

В результате реакции хлорноватистой кислоты с едким натром образуется гипохлорит:

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCLO + H_20.$$

На станции необходимо иметь не менее трех электролизеров, которые устанавливают в сухом, отапливаемом помещении. В электролизной ванне должны быть трубопроводы для водяного охлаждения, над электролизером устанавливают зонт вытяжной вентиляции для удаления выделяющихся газов. Высотное расположение электролизера должно обеспечить поступление раствора NaCLO в бак-накопитель самотеком. Бак-накопитель размещают в вентилируемом помещении, дозировку раствора гипохлорита в воду производят эжектором, насосом-дозатором или другим устройством для подачи растворов и суспензий.

Смесители хлорной воды с обрабатываемой водой подразделяют на три типа: ершовые (при расходе сточных вод до 1400 м^3/сут), лоток Паршаля (рис. 8.4) и в виде емкости с пневматическим или механическим перемешиванием.

Контактные резервуары предназначены для обеспечения расчетной продолжительности контакта очищенных сточных вод с хлором или гипохлоритом натрия. Они проектируются как первичные горизонтальные отстойники в количестве не менее двух, без скребков, на время пребывания

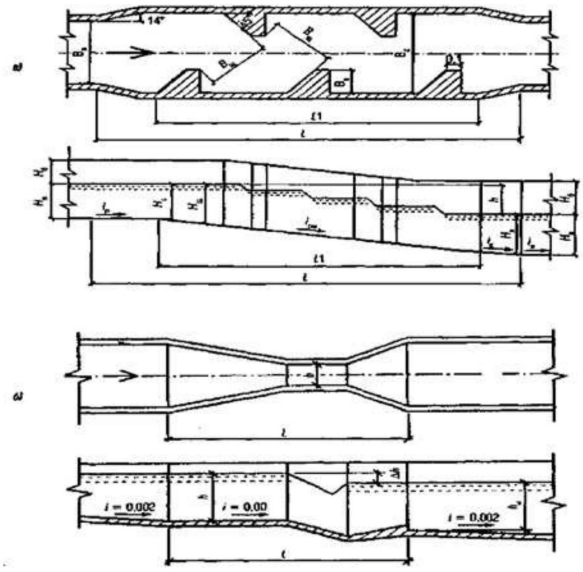


Рисунок 8.4. Смесители хлорной воды

а – ершового типа; б – типа лоток Паршаля

сточных вод 30 мин. При этом учитывается и время протока сточных вод в выпуске. В контактных резервуарах предусматривается периодическое (примерно раз в 5-7 сут) удаление образующегося осадка и перекачка его в приемную камеру очистных сооружений.

8.3. Обеззараживание озонированием

Озон (O_3) – аллотропная модификация кислорода, наиболее сильный из известных в настоящее время окислителей. Как и хлор, озон является высокотоксичным, ядовитым газом. Это нестойкое вещество саморазлагается, образуя кислород. Обладая высоким окислительно-восстановительным потенциалом, озон проявляет высокую реакционную активность по отношению к различного рода примесям воды, включая биологически неразлагаемые соединения и микроорганизмы. При взаимодействии озона с примесями воды протекает процесс их окисления. Одно из его преимуществ перед другими окислителями с гигиенической точки зрения – неспособность к реакциям замещения (и отличие от хлора). При озонировании в обрабатываемую воду не вносятся дополнительные примеси, а вероятность образования токсичных соединений значительно ниже, чем при хлорировании.

Бактерицидное действие озона объясняется его способностью нарушать обмен веществ в живой клетке за счет смещения равновесия восстановления сульфидных групп в неактивные дисульфидные формы. Озон очень эффективно обеззараживает споры, патогенные микроорганизмы и вирусы.

Интерес к применению озона для обработки сточных вод возник и связи с его потенциально меньшей опасностью для водоемов. Остаточный растворенный в воде озон полностью разлагается за 7-10 мин и в водоем не поступает. При обработке воды не образуются высокотоксичные галогеноорганические соединения. Как правило, использование озона для обработки сточных вод имеет двойную цель – обеспечить обеззараживание и улучшить качество очищенной воды; кроме того, разложившиеся, не вступившие в реакцию молекулы озона обогащают воду растворенным кислородом.

Приблизительная доза озона для обеззараживания городских сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, – 8-14 г/м^3. Необходимая продолжительность контакта около 15 мин. Если целью применения озонирования является не только обеззараживание, но и доочистка сточных вод, то возможно увеличение дозы озона и продолжительности контакта. Так, при озонировании биологически очищенных городских сточных вод с дозой озона около 20 г/м^3 помимо полного обеззараживания происходит снижение ХПК воды на 40%, $БПК_5$ на 60-70, ПАВ на 90, окраски

Метод	Время обеззараживания, мин	Период после действия	Влияние на органолептические свойства воды	Влияние исходного качества воды на эффект обеззараживания
Хлорирование	30	Сутки и более в зависимости от дозы	Улучшает: окисляет фенолы до продуктов, не обладающих хлорфенольными запахами	С ростом мутности, цветности и pH ухудшается
Йодирование	5–10		Ухудшает: запах йода, который улетучивается через 40–50 мин	При наличии в воде органических веществ бактерицидный эффект не изменяется
Озонирование	2–10		Улучшает: устраняет запахи	С ростом концентрации взвешенных веществ бактерицидная активность падает
Обработка ионами серебра	60–120	90–150 сут в зависимости от дозы	Не влияет	С ростом концентрации взвешенных веществ, температуры, солевого состава и pH уменьшается
Обработка УФ–лучами	Мгновенно		Не влияет	Наличие взвешенных веществ резко снижает эффект обеззараживания
Гамма–облучение	–	На кишечную палочку не действует	Улучшает: уничтожает запах	Не влияет

Таблица 8.1. Специфика различных методов обеззараживания сточных вод

воды на 60%, практически полностью пропадает запах. На реакции озона в воде влияет большое число факторов, и поэтому более точно его дозу определяют экспериментальным путем.

Получение озона. Озон быстро разлагается и не хранится, поэтому его получают на месте использования. Аппараты для получения озона называют генераторами озона, или озонаторами. В промышленных условиях озон получают пропусканием потока воздуха или кислорода между двумя электродами, к которым подводится переменный электрический ток высокого напряжения (5-25 кВ). Чтобы избежать образования электрической дуги, один, а иногда оба электрода покрывают слоем диэлектрика одинаковой толщины (диэлектрический барьер). В такой разрядной системе образуется тлеющий коронный (тихий) разряд.

Принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков – получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (рис. 8.5) включает четыре ступени: забор и сжатие воздуха; охлаждение; осушка и фильтрование воздуха; генерация озона.

Атмосферный воздух забирается через воздухозаборную шахту, оснащенную грубым фильтром, и компрессорами подается в специальные охладители, а затем на автоматические установки для осушки воздуха на адсорбенте – силикагеле.

Осушенный воздух поступает в автоматические блоки фильтров, в которых осуществляется тонкая очистка воздуха от пыли. Из фильтров осушен-ный и очищенный воздух подается в генераторы озона.

В обрабатываемую сточную воду озон вводят различными способами: барботированием содержащего озон воздуха через слой воды (диспергирование воздуха происходит через фильтросы); смешиванием воды с озоно-воздушной смесью в эжекторах или в специальных импеллерных механических смесителях.

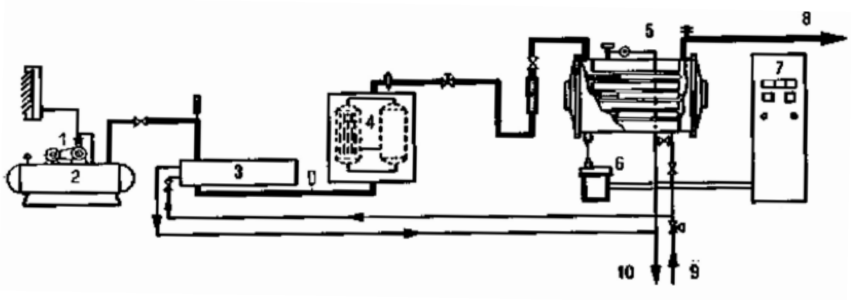


Рисунок 8.5. Схема установки получения озона из воздуха

1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – охладитель воздуха; 4 – осушительная установка; 5 – генератор озона; 6 – высоковольтный трансформатор; 7 – электрический щит управления; 8 – трубопровод озоно-воздушной смеси в контактную камеру; 9, 10 – подача и отведение охлаждающей воды

Выбор типа контактной камеры определяется расходами обрабатываемой воды и озоно-воздушной смеси, необходимым периодом контакта воды с озоном и скоростью химических реакций.

8.4. Обеззараживание ультрафиолетовым облучением

Наиболее распространенный безреагентный метод обеззараживания сточных вод – использование бактерицидного ультрафиолетового (УФ) излучения, воздействующего на различные микроорганизмы, включая бактерии, вирусы и грибы.

Обеззараживающий эффект УФ-излучения обусловлен необратимым повреждением молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в сточной воде, за счет фотохимического воздействия лучистой энергии, которое предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии излучения.

Степень инактивации микроорганизмов УФ-излучением пропорциональна его интенсивности I (МВт/см^2) и времени облучения T (с). Произведение этих величин называется дозой облучения D (мДж/см^2) и является мерой бактерицидной энергии, сообщенной микроорганизмам.

При проектировании установок УФ-обеззараживания сточных вод доза облучения принимается не менее 30 мДж/см^2.

Положительные санитарно-технологические аспекты применения УФ-излучения для обеззараживания сточных вод – это непродолжительное время контакта, исключение образования токсичных и канцерогенных продуктов, а также отсутствие пролонгированного биоцидного эффекта, оказывающего отрицательное влияние на водоем – приемник сточных вод. Отсутствует необходимость хранения опасных материалов и реагентов. Установки обеззараживания сточных вод ультрафиолетовым излучением легко автоматизируются и быстро запускаются в работу, они достаточно просты в обслуживании.

Данный метод обеззараживания наиболее применим на очистных сооружениях небольшой производительности (до 20 000 м^3/сут). УФ-установки эффективны при обеззараживании сточных вод, прошедших качественную биологическую очистку или доочистку на крупнозернистых фильтрах, так как присутствие взвешенных веществ существенно снижает бактерицидный эффект.

В качестве источников УФ-излучения применяют специальные ртутно-кварцевые и ртутно-аргоновые лампы со специальным стеклом, которое благодаря отсутствию в нем оксидов Fe_2O_3, Cr_2O_3, V_2O_3 и сульфидов тяжелых металлов, поглощающих УФ-лучи, обладает повышенной прозрачностью в области УФ-спектра. Лампы низкого давления имеют потребляемую мощность 2-200 Вт и рабочую температуру 40-150°С, лампы высокого давления – мощность в пределах 50-10 000 Вт при рабочей температуре 600-800°С.

Для обеззараживания сточных вод применяют установки напорного и безнапорного типа, которые, в свою очередь, бывают с погруженными в воду источниками излучения (лампами) и непогруженными.

В нашей стране выпускаются напорные установки серии УДВ (НПО «ЛИТ») заводского изготовления для обеззараживания воды производительностью от 6 до 1000 м^3/ч и дозой облучения 45 мДж/см^2. В установках используются бактерицидные лампы низкого давления типа ДБ-75-2 со сроком службы 12 000 ч (1,5 года). На *рисунке 14.8* представлена установка УДВ-6/6 производительностью 6 м^3/ч. Также выпускается оборудование для установок большей производительности безнапорного типа.

Глава 9. МЕТОДЫ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Под доочисткой подразумевают методы и процессы, дополняющие традиционные технологические схемы двухступенчатой очистки (механическая + биологическая) сточных вод данного состава. Возможная степень удаления загрязнений в процессах третичной очистки (доочистки) практически неограничена и определяется условными сброса очищенных сточных вод в водоемы, подачи воды из технические нужды, рекреационное обводнение или в систему питьевого водоснабжения.

9.1. Удаление из воды биогенных элементов

Биогенные элементы – химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. К их числу относятся: кислород, углерод, водород, азот, бор, сера, кальций, калий, натрий, хлор, а также йод, цинк, магний, марганец, железо и другие химические элементы, необходимые организмам в ничтожных количествах. Обычно глубокую очистку сточных вод с удалением некоторых биогенных элементов производят после их биологической очистки при повторном использовании для нужд технического водоснабжения. При этом наиболее часто решается задача нитрификации, т.е. окисления аммиака до азотной кислоты. Процесс имеет огромное значение для земледелия, так как переводит азотистые соединения в форму, доступную для питания растений. Кроме того, для водоемов общественного водопользования существуют ПДК по биогенным элементам, в частности азота солевого аммиака до 2 мг/л. Из известковых методов удаления из воды азота солевого аммиака: десорбция воздухом в щелочной среде, озонирование, хлорирование, нитрификация – все шире внедряется в практику последний метод. При этом азот из воды не удаляют, а переводят азот солевого аммиака в нитраты и нитриты, что значительно улучшает кислородный режим водоема.

Процесс нитрификации успешно протекает в биофильтрах и аэротенках за счет жизнедеятельности бактерий-нитрификаторов, и эффект нитрификации соответственно составляет 30-47, 60-70 и 70-75%. Под эффективностью нитрификации подразумевают отношение суммы образовавшихся нитратов и нитритов к исходному содержанию аммонийного азота, выраженное в процентах. Для всех сооружений биологической очистки, работа-

ющих в схемах нитрификации, необходим период зарядки или адаптации. Так, для аэротенков он составляет 30-45 дн., при этом наблюдается убыль активного ила по сухому веществу вследствие отмирания сапрофитной микрофлоры и вспухание ила. Скорость окисления аммонийного азота в расчете на 1 г беззольного вещества активного ила не превышает 4,2 мг азота в час при интенсивности 3 $м^3/(м^2*г)$. Возрастание интенсивности аэрации до 16 $м^3/(м^2*г)$ влечет за собой возрастание скорости окисления до 4,8-5 мг азота в час. При интенсивности аэрации 15,7 $м^3/(м^2*г)$ и 10-часовой продолжительности эффект нитрификации достигал 92%. Наиболее высокий эффект нитрификации достигается в аэротенках. В них возможно управлять процессом за счет концентрации биомассы нитрифицирующего ила и оптимизации состава его микробиального населения. Рекомендуется устройство специального резервуара для выращивания нитрифицирующего ила, так как прирост активного ила в самом аэротенке- нитрификаторе весьма мал.

Доочистка сточных вод фильтрованием. Для этого наиболее широко применяют фильтрование на барабанных сетках с ячейками 0,5-1 мм, со скоростью 40-50 м/ч с последующим фильтрованием на фильтрах с зернистой загрузкой. Для доочистки биологически очищенных сточных вод используют прямоточные скорые фильтры. Предпочтение следует отдавать скорым фильтрам с направлением потока снизу вверх, а также многослойным каркаснозасыпным и крупнозернистым фильтрам. Скорость фильтрования принимают 5-15 м/ч. При фильтровании через зернистую загрузку биологически очищенных сточных вод достигается снижение $БПК_{полн}$ на 70-80%, ХПК – на 30-40%, взвешенных веществ – на 80-90%.

Промывку фильтров осуществляют водой с содержанием взвешенных веществ до 20 мг/л или применяют водовоздушную промывку. На скорых фильтрах с движением воды сверху следует предусматривать устройства для гидравлического или механического взрыхления верхнего слоя загрузки. Интенсивность промывки скорых песчаных фильтров с нижней и верхней промывкой – порядка 16-18 $л/(с*м^2)$ в течении 6-8 мин, а для двухслойных фильтров – 14-16 $л/(с*м^2)$ в течении 8-10 мин. Для противоточных скорых фильтров применяют водовоздушную промывку со следующим режимом: продувка воздухом с интенсивностью 18-20 $л/(с*м^2)$ в течении 1-2 мин; водовоздушная промывка с интенсивностью 6-7 $л/(с*м^2)$ в течении 4-5 мин. Продолжительность фильтроцикла применяют: для кварцевых прямоточных фильтров 12 ч при исходном содержании взвешенных веществ 15-20 мг/л и 8 ч при 20-40 мг/л; для противоточных и двухслойных фильтров 24 ч при исходном содержании взвешенных веществ 15-20 мг/л и 16 ч при 20-30 мг/л. Вода после промывки фильтров подвергается отстаиванию в течении 2 ч, а затем подается в аэротенки, а осадок поступает в сооружение по обработке осадков. Периодически,

1 раз в 3 месяца, загрузка фильтров хлорируется, для чего фильтр заполняется на сути хлорной водой с концентрацией хлора 0,2-0,3 г/л.

В последнее время доочистки биологически очищенных сточных вод шире применяют каркаснозасыпные фильтры (КЗФ). Особенностью кинетики извлечения ими взвешенных веществ является то, что гравийный каркас задерживает крупные частицы взвеси в количестве до 40%, выравнивает нагрузку по взвеси и тем самым обеспечивает более однородный дисперсный состав взвешенных частиц, проникающих во второй фильтрующий слой. При этом активный ил, накапливающийся в загрузке фильтра, не теряет своей биохимической активности. Эффективность доочистки сточных вод на КЗФ составляет: по взвешенным веществам – 80-95%; по снижению величины $БПК_{поли}$ – 66-89%; снижение величины ХПК – 24-40%. Оптимальные технологические и конструктивные параметры КЗФ: скорость фильтрования – 10 м/ч; размер фракций гравийного каркаса – 40-60 мм; размер фракций песчаной засыпки 1-1,25 мм, высота песчаной засыпки 0,9 м, а общая высота гравийного каркаса – 1,8 м. Оптимальные параметры водяной и водовоздушной промывки КЗФ: при водяной промывке: интенсивность подачи промывной воды 20-22 л/(с*м^2), продолжительность промывки 8 мин, при водовоздушной промывке: интенсивность подачи промывной воды 12-14 л/(с*м^2); интенсивность подачи воздуха 20-22 л/(с*м^2); продолжительность промывки 10 мин.

Сорбция остаточных органических веществ на активном угле. Сорбция – процесс, заключающийся в том, что загрязнения из сточной жидкости или поглощаются твердым телом (абсорбция), осаждаются на его активно развитой поверхности (адсорбция), или вступают в химическое взаимодействие с ним (хемосорбция). Для очистки производственных сточных вод чаще всего используют адсорбцию. Для этого к очищаемой сточной жидкости добавляют сорбент (твердое тело) в размельченном виде и перемешивают со сточной водой. Затем сорбент, насыщенный загрязнениями, отделяют от воды отстаиванием или фильтрованием. В качестве сорбентов применяют: активный уголь, коксовую мелочь, торф, каолин, опилки, золу и др. Лучший, но дорогой сорбент- активный уголь. Для восстановления сорбционной емкости активный уголь подвергается регенерации едким натром, паром или термообработке. Метод сорбции можно использовать, например, для очистки производственных сточных вод, содержащих мышьяк, сероводород и др. После адсорбционной очистки является ее относительная высокая стоимость.

Появление доочистки связано с непрерывным увеличением водопотребления и соответственно образованием сточных вод, при котором, несмотря на высокую эффективность существующих очистных сооружений, общее количество остаточных загрязнений, выносимых с очищенными водами, превышает самоочищающую способность водоемов. Возможная

степень удаления загрязнений в процессах третичной очистки практически неограничена и определяется условиями сброса очищенных сточных вод или последующей их утилизации.

В решении общей проблемы истощения и предотвращения загрязнения водоемов большое значение приобретает повторное и многократное использование воды и в первую очередь использование очищенных сточных вод для орошения в сельском хозяйстве, а также в качестве источника технического водоснабжения промышленных предприятий. В районах, испытывающих острый дефицит в воде, уже используют очищенные городские сточные воды даже для пополнения запасов подземных вод. Само собой разумеется, что требования к доочистке сточных вод при последующем их повторном использовании определяются технологией тех предприятий, куда они направляются, а это, в свою очередь, определяет разнообразие возможных технологических схем, методов и сооружений подготовки или доочистки сточных вод. Возможность и целесообразность повторного использо-вания сточных вод определяются санитарными, техническими и экономическими факторами. Возможность и эффективность орошения сельскохозяйственных полей биологически очищенными бытовыми сточными водами общеизвестна. Такое использование бытовых сточных вод одновременно может рассматриваться как прием их доочистки, обеспечивающий высокую степень изъятия остаточных загрязнений и, в частности, соединений фосфора и азота. Однако в этом случае серьезное значение приобретают санитарно-эпидемиологические мероприятия, предусматривающие предупреждение распространения инфекционных заболеваний через почву и выращиваемые овощи и плоды, а также защиту здоровья сельскохозяйственных рабочих.

Несмотря на наличие определенного положительного опыта орошения лугов и сельскохозяйственных полей очищенными городскими и производственными сточными водами, еще много вопросов остается до сего времени невыясненными, и в первую очередь вопросы, связанные с аккумуляцией растениями вредных для здоровья людей и животных химических соединений, содержащихся в сточных водах. Безусловно, нуждается в дальнейшем совершенствовании существующая техника полива. Поэтому возможность использования очищенных сточных вод для орошения сельскохозяйственных полей в каждом конкретном случае устанавливается санитарными органами Министерства здравоохранения и бассейновыми инспекциями Министерства мелиорации и водного хозяйства.

Сезонность орошения, а следовательно, необходимость создания значительных по объему накопителей, высокая стоимость оросительных систем, трудоемкость поливных работ, как правило, ограничивают область применения этого приема использования сточных вод районами, испытывающими острый дефицит в воде.

Таблица 9.1.
Методы доочистки сточных вод, условия их применения и контроля

Методы доочистки	Назначение метода	Область использования воды	Показатели контроля эффекта доочистки	Примечание
Фильтрование	Снижение содержания взвешенных веществ, легкоокисляющихся органических соединений, бактериального загрязнения	Техническое водо-снабжение, сброс в водные объекты, орошение, пополнение запасов подземных вод	ХПК, БПК, содержание взвешенных веществ, микробное загрязнение	Перед использованием доочищенных вод нужно обеззараживать
Адсорбция	Очистка воды от растворенных органических соединений	Тоже	ХПК, БПК, содержание органических веществ, соединения азота, микробное загрязнение	Поступающие на очистку стоки должны быть освобождены от взвешенных и коллоидных веществ
Бисорбция	Очистка воды от антропогенных загрязнений	В системах производственного водоснабжения	ХПК, БПК, микробное загрязнение	Перед использованием вода должна быть обеззаражена
Коагуляция	Очистка от растворенных органических, взвешенных, коллоидных веществ, фосфорных соединений, бактериального загрязнения	Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты	ХПК, БПК, окисляе-мость, содержание взвешенных веществ, фосфаты, органический фосфор, остаточные концентрации коагулянта	Добавки флокулянтов улучшают процесс осветления воды. После коагуляции необходимо применение песчаных и угольных фильтров
Флотация	Очистка от поверхностно-активных веществ	Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты	Содержание ПАВ, ХПК	Очищенная флотацией во да насыщена кислородом. Перед использованием доочищенные воды необходимо обеззараживать
Ультра- и гиперфильтрация	Деминерализация, полное удаление взвешенных и органических веществ, азота и фосфора, бактериального загрязнения, вирусов, а также извлечение ценных веществ из солей тяжелых металлов. В сочетании с другими методами – получение воды питьевого качества	Опреснение высокоми-нерализованных вод. Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты	Сухой остаток, содержание органических веществ специфических компонентов мембран, микроэлементы, микробное загрязнение	Мембраны должны обладать селективностью, высокой скоростью фильтрации, химической и механической прочностью, При получении воды для питья используются мембраны, допущенные к применению в водоснабжении

Методы доочистки	Назначение метода	Область использования воды	Показатели контроля эффекта доочистки	Примечание
Электродиализ	Деминерализация, частичное удаление органических соединений, микробного загрязнения. В сочетании с другими методами – получение воды питьевого качества	Всевозможные области использования воды	Сухой остаток, содержание органических веществ специфических компонентов мембран, микроэлементы, микробное загрязнение	Из воды не удаляются химические вещества иеионогенной природы, требуется обязательное обеззараживание доочищенных стоков
Ионный обмен	Деминерализация, удаление органических примесей, соединений азота и фосфора, снижение микробного загрязнения	Тоже	Сухой остаток, микроэлементы, специфические вещества ионообменных смол, микробное загрязнение	Требуется обязательное обеззараживание недоочищенных стоков
Окисление	Снижение органического загрязнения, мутности, цветности, микробного загрязнения	Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты, питьевое водоснабжение	ХПК, БПК, содержание органических веществ, мутность, цветность, микробное загрязнение, остаточные количества окислителя	Исходная вода должна быть очищена от взвешенных веществ и растворенных газов. Особое внимание следует уделять определению недоокисленных органических продуктов
Биологические	Окисление органических веществ, обогащение кислородом, снижение содержания взвешенных веществ, соединений азота, фосфора и других биогенных злементов, микробного загрязнения	Сброс в водные объек–ты, техническое водо–снабжение, орошение, пополнение запасов подземных вод	ХПК, БПК, растворенный кислород, азот, фосфаты, органический фосфор, микробное загрязнение	Исходная вода должна быть биохимически очищена

Следует указать, что с появлением в бытовых водах синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ) и повышением содержания соединений фосфора (в результате применения для стирки синтетических моющих средств) прибегают к орошению очищенными сточными водами луговых дренированных участков как приему доочистки бытовых сточных вод от этих веществ.

Совершенно очевидно, что в технологических процессах пищевой, мясомолочной, фармацевтической промышленности использование очищенных бытовых сточных вод исключено.

Методы доочистки сточных вод, условия их применения и контроля представлены в *таблице 9.1*.

9.2. Выпуски очищенных сточных вод в водоем

Конструкция выпуска должна обеспечивать хорошее перемешивание сточных вод с водой водоема, что позволяет лучше использовать самоочищающую способность последнего.

Выпуски бывают *сосредоточенные*, когда сточные воды выпускаются через одно отверстие, и *рассеивающие*, когда имеется несколько выпускных отверстий. Различают также *береговые* и *русловые* выпуски.

Береговые выпуски бывают незатопленные и затопленные. При незатопленных береговых выпусках излив сточных вод производится несколько выше уровня воды в реке. При затопленных береговых выпусках устраивается береговой колодец и излив сточных вод про-исходит под уровень воды, к водоеме.

Русловые выпуски располагаются в водоеме на некотором расстоянии от берега. По сравнению с береговыми выпусками они обеспечивают лучшее и более быстрое смешение сточных вод с водами водоема.

По конструкции наиболее совершенны рассеивающие русловые выпуски. Такие выпуски заканчиваются выпускным оголовком в виде горизонтально расположенной конусной трубы, на боковой поверхности которой имеется вырез с поперечными направляющими. Этим обеспечивается хорошее смешение.

Весьма эффективное смешение сточных вод с водами водоема обес-печивает конструкция рассеивающего фильтрующего струйного выпуска в виде стальной перфорированной трубы с приваренной к ней по всей длине металлической обоймой со щелевыми отверстиями Обойма заполнена крупным гравием или щебнем.

Выбор конструкции выпуска и места его расположения определяется технико-экономическими расчетами.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД

Глава 10.

В настоящее время общие площади орошения сточными водами в Казахстане составляют 8-10 тыс.га (было 30-35 тыс.га). Несколько медленное развитие систем ЗПО объясняется слабой изученностью многих технико-экономических и экологических аспектов данной проблемы, недостаточным опытом эксплуатации систем ЗПО в различных зонах, необходимостью создания зимних накопителей, отсутствием согласованных межведомственных СНиП, малым числом специалистов, хорошо знакомых с проектированием, строительством и эксплуатацией систем.

10.1. Виды сточных вод, используемых для орошения

Для орошения сельскохозяйственных культур на ЗПО можно использовать хозяйственно-бытовые, производственные и смешанные сточные воды, т.е. есть практически все виды жидких стоков. При решении вопроса о возможности использования сточных вод, в особенности производственных, нужно учитывать:

- состав стоков
- климатические данные
- рельеф и гидрогеологические условия
- почвенный покров и растительность
- гидрогеологическую и химическую характеристику водоприемника
- сельскохозяйственное использование ЗПО, режим орошения и ряд других факторов.

Хозяйственно-бытовые и коммунальные смешанные воды небольших городов и поселков (при отсутствии крупных промышленных предприятий со стоками сложного состава) считается пригодным по своему составу для орошения в различных природных условиях. Состав хозяйственно-бытовых сточных вод представлен в *таблице 9.1*.

Таблица 10.1. Состав хозяйственно-бытовых сточных вод

Степень очистки хозяйственно-бытовых сточных вод	Средние концентрации компонентов, мг/л					
	азот	фосфаты	калий	$БПК_5$	Сухой остаток	pH
Без очистки	30–40	5–7	12–18	60–70	600–1000	6,5–7,1
Механическая очистка	25–35	4–6	11–12	50–60	500–900	7,4–7,8
Биологическая очистка	14–18	2–3	10–13	15–20	400–700	7,2–7,6

Считается, что смешанные сточные воды крупных городов, прошедшие биологическую очистку, пригодны для подачи на ЗПО, т.к. требования по ПДК к воде, сбрасываемой в водоприемник, значительно выше, чем в оросительной воде.

Как рекомендуют правила по охране вод и технические условия по проектированию канализации, отдельные предприятия или цехи, где образуются сточные воды, опасные для загрязнения водоприемников или почвы, должны иметь локальные очистные сооружения, а сильно токсичные отходы нужно уничтожать или захоронить.

Промышленные сточные воды, как показали исследования, в большинстве своем после определенной обработки пригодны для подачи на ЗПО. Однако на многих предприятиях со временем меняется технология производства, исходное сырье, либо нормы водопотребления, что требует постоянного контроля за составом воды и соответствующих корректировок в системе очистки или режиме орошений.

Пригодными и полезными для удобрительного орошения признаны промышленные стоки:

- консервных
- сахарных
- крахмально-паточных
- спиртовых
- пивоваренных
- дрожжевых
- молочных заводов.

Стоки сахарных заводов содержат много органических веществ и по удобрительной эффективности могут быть отнесены к средней категории. В них содержатся:

- азота (N) – 40-50мг/л
- калия (K) – 60-70мг/л
- фосфора (P) – 3-6мг/л

Стоки крахмальных заводов характеризуются повышенной концентрацией взвешенных и растворенных веществ, а также кислой реакцией:

- азота (N) – 85-105мг/л
- калия (K) – 100-280мг/л
- фосфора (P) – 10-50мг/л

Высокая концентрация этих стоков требует 2-3 кратного их разбавления или известкования почв.

Стоки молочных заводов вполне пригодны для орошения и не требуют особой их подготовки:

- азота (N) – 35мг/л
- калия (K) – 25мг/л
- фосфора (P) – 17мг/л
- кальция (Ca) – 150мг/л.

Стоки мясокомбинатов имеют значительные колебания концентрации (N, P, K в среднем 290:100:140), поэтому их необходимо разбавлять, предварительно отстаивать, а также подвергать биологической очистке. Использовать эти стоки для ЗПО рекомендуется при выращивании трав для производства витаминной травяной муки.

Стоки спирто-водочных и дрожжевых заводов (N, P, K в среднем 200:300:480) трудно поддаются биологической очистке на сооружениях и могут использоваться для орошения после 1,5-2 кратного разбавления при условии периодического известкования почвы в зонах достаточного и избыточного увлажнения.

Менее богаты удобрительными веществами (N, P, K – 30:10:100) стоки пивоваренных, солодовых и консервных (плодоовощных) заводов.

Стоки текстильных предприятий по своему химическому составу пригодны для орошения. Так как содержание в них фосфора и азота незначительно, то их эффективно использовать на ЗПО для разбавления животноводческих стоков (жидкого навоза).

Большую ценность для ЗПО представляют животноводческие стоки или жидкий навоз, образованный при гидравлическом удалении отходов из животноводческих помещений крупных механизированных ферм. Однако эти стоки содержат много органических загрязнений, что представляет существенную опасность для водоприемников.

Подготовка сточных вод для орошения

Перед подачей на орошение, также как перед сбросом в водоприемник, все хозяйственно-бытовые и смешанные городские стоки, согласно нор-

мативам должны проходить полную подготовку, а также обработку осадка сточных вод.

Изменение удобрительной ценности сточных вод при искусственной очистки в *таблице 10.2*.

Таблица 10.2. Изменение удобрительной ценности сточных вод при искусственной очистки

Показатели	Сточные воды					
	неочищенные		после механической очистки		после полной биологической очистки	
	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%
Азот общий (N)	49–66	100	48–58	92,2	35–50	74,0
Фосфор (P_2O_5)	19–20	100	14–23	94,9	15–20	90,0
Калий (K_2O)	26–35	100	24–26	82,0	23–27	82,0
Кальций (CaO)	116–169	100	110–149	90,9	127–124	90,0
pH	7,4–7,6	–	7,4–7,8	–	7,2–7,7	–

В зависимости от особенностей стоков, их физико-механических свойств и химического состава в системе очистки могут отсутствовать отдельные элементы (например, жироловки), но включаться дополнительные сооружения или установки для удаления из стоков специфических компонентов, для нейтрализации, разбавления, устранения или охлаждения воды.

На небольших объектах поселковой канализации в районах со среднегодовой температурой выше 0°С вместо биофильтров применяют биологические пруды (БП). Для более северных районов БП используются сезонно при температуре воды выше +4°С.

Различают проточные (ступенчатые) и контактные БП, получившие название БОКС (биологические оксидационные контактные стабилизационные). Вследствие успешного взаимодействия различных гидробиологических факторов обеспечивается более эффективная очистка стоков. После окончания цикла в БОКС прудах сточные воды санитарно безопасны и эпидемиологически безвредны.

Глубина сточных прудов 1-1,5 м, соотношение длины и ширины в плане 2:1 и 3:1. Расчетные нагрузки по $БПК_5$ до 250-300 кг/га в сутки. Зависит она от климатических условий и числа ступеней принимают обычно 2-4.

Глубина наполнения контактных прудов 0,5-0,8 м, время пребывания в них стоков 8-10 сут., нагрузки по БПК от 60 до 120 кг/га. Эти пруды устраивают секциями, каждая из которых рассчитана на прием одного – двухсуточного объема стока.

Организация оборотного водопользования на ЗПО, безусловно, снижает санитарные требования по предварительной очистке сточных вод от загрязнителей биогенного происхождения, но повышает требования к химическому составу стоку с тем, чтобы в почве не происходило накопление вредных компонентов до токсичных концентраций.

Также сточные воды представляют собой, как уже отмечалось выше, биологические растворы, то в них постоянно протекают сложные химические, биологические и биохимические процессы, изменяющие со временем состав микрофауны и соотношение органической и минеральной части соединений. Фактор времени особенно сказывается на биопрудах, прудах – накопителях и испарителях, где наблюдаются интенсивные процессы самоочищения и самообеззараживания стоков.

Требования к очистке стоков перед их сбросом в водоемы и подачей на ЗПО имеют существенные отличия. Для полей орошения, например, фактор органического загрязнения $БПК_5$ перед сбросом в водоемы должны быть по возможности меньше (2-4 мг/л) и на ЗПО с успехом применяют воды (например, сахарных заводов и животноводческих комплексов), где $БПК_5$ достигает 1000-2000 мг/л и более. На полях избыточное количество органики хорошо перерабатывается почвой; одновременно с процессом минерализации происходит гумификация органических веществ сточных вод, что повышает содержание гумуса и потенциальных плодородных почв. Это в свою очередь, увеличивает их биологическую активность, урожайность. Таким образом, здесь наблюдаются процессы саморегулирования, которые при соблюдении расчетных норм орошения и поддержания оптимального водно-воздушного режима в корнеобитаемом слое почвы обеспечивают надежную очистку стоков и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Схемы земледельческих полей орошения

Выбор площадей для устройства ЗПО и схем расположения их элементов определяется следующими факторами:

- природные условия (климат, рельеф поверхности, геологические и гидрогеологические условия, гидрологический и гидрохимический режим водотоков и водоемов, почвенный покров, водный баланс местности, флора и фауна и т.п.);
- хозяйственное использование территории, современное состояние и перспективы развития сельского хозяйства, его эффективность, наличие рабочей силе и опыта орошения, условия реализации сельскохозяйственной продукции, наличие транспортных связей и источников энергосбережения;

- характеристика сбрасываемых сточных вод (объем и состав сточных вод, режим и подача, виды и производительность очистных сооружений, степень и качество предварительной очистки стоков, строительные и эксплуатационные затраты на их очистку, степень изменения качества воды в водоприемнике при спуске очищенных стоков);
- данные о комплексном использовании водных ресурсов в бассейне данного водоприемника, состав водопользователей и перспективы их развития, объемы водопотребления и водоотведения, прогнозы качества воды, наличие рекреационных водоохранных зон, число водопользователей, заинтересованных в совместном использовании сточных вод до или после их очистки в системах оборотного водоснабжения в промышленности, сельском, лесном или рыбном хозяйстве.

Как правило, для размещения ЗПО рекомендуют использование площади с уклонами 0,0005-0,01 (до 0,03), характеризующиеся низким плодородием и высокими фильтрационными свойствами почвогрунта.

Существующие ЗПО бывают трех видов:

1. обеспечивающие прием и орошение сточными водами в течение всего года (в условиях почвогрунтов с достаточно высокими коэффициентами);
2. обеспечивающие прием сточных вод в регулирующие резервуары и использование только в период вегетации;
3. обеспечивающие прием и орошение только в вегетационный период.

Комплексное значение ЗПО заключается в повышении плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур и сочетается с доочисткой сточных вод. Все это обеспечивает защиту природных вод от загрязнения.

Основная задача проектирования общей схемы ЗПО заключается в том, чтобы в каждом конкретном случае, при определенном сочетании рассмотренных ранее факторов выбрать наиболее оптимальный вариант компоновки схемы, соответствующий требованиям рационального использования и охраны природных ресурсов.

Обследование ряда действующих полей орошения, анализ литературных источников, а также технико-экономические расчеты и обоснования для объектов ЗПО в Казахстане, Западной Сибири нечерноземной зоне России позволили обобщить опят их проектирования и эксплуатации и разделить их на пять наиболее характерных типов с гарантированным приемом расчетного количества сточных вод.

Конструктивное отличие оросительной сети на ЗПО от обычных оросительных систем заключается в следующем:

1. Водоподводящий тракт кА магистральный, так и распределительный строят из закрытых трубопроводов, исходя из санитарных соображений и в целях уменьшения фильтрационных потерь. Ввиду того, что большинство ЗПО рассчитано на круглогодичный прием сточных вод, все трубопроводы и сооружения должны быть защищены от промерзания.
2. Кроме того, ЗПО оборудуют буферными площадками, предназначенными для приема ливневых и паводковых вод, стекающих с полей орошения. Для этих площадок обычно отводят 3-5% общей площади ЗПО наиболее пониженной части.
3. одновременно с этим предусматривают резервные территории, на которые временно может поступать избыточное количество сточных вод (в случае аварий или по другим причинам).

Режим увлажнения и техника поливов на ЗПО

Поливной режим на ЗПО в определенных климатических зонах зависит в первую очередь от схемы их компоновки и почвенно-геологических условий. Существенное влияние оказывают состав и чередование сельскохозяйственных культур, способы полива.

Сравнительно долгое время понятие о ЗПО у многих специалистов ошибочно ассоциировалось только с круглогодовым орошением, т.к. в нормах не говорилось четко о возможности регулирования подачи стоков, о целесообразности сезонной добавки условно-чистых или обычных вод, о совмещении ЗПО с биологическими или рыбоводными прудами и т.п. Как показали многолетние исследования, круглогодовое орошение эффективно только на легких и средних по механическому составу, хорошо дренированных почвогрунтах с зоной аэрации не менее 1 м. Включение в ЗПО отдельных участков с тяжелыми почвами должно компенсироваться другими хорошо дренированными резервными участками или созданием регулирующих емкостей, гарантирующих прием стоков и очистку их в полном объеме круглый год. Принятая площадь должна быть увеличена против расчетной еще на 10-20% для мелиорированного поля, которое периодически выводится из орошения для ремонта сети, пара, борьбы с вредителями.

При определенном режиме орошения сточными водами, кроме водного баланса почв и удобрительной способности стоков (N, P, K) их обычно проверяют по ПДК токсичных и вредных веществ, поступающих сто стоками в почву. Это прежде всего относится к слаборазбавленным стокам.

Следует отметить, что расчеты водного баланса должны учитывать не только зону аэрации, но и зону грунтовых вод. Поливные нормы в вегетационный период назначаются, как для обычного орошения. Они зависят от влагоемкости почв, техники поливов, периода вегетации и колеблются от 200 до 1000 м^3/га. Оросительные нормы по отдельным культурам на ЗПО часто назначают на 20-50% выше, чем при обычном орошении.

Обычно расчетная оросительная норма на ЗПО обозначается по аналогии с очистными сооружениями средневзвешенной годовой нагрузкой в м^3/га сутки. Эта расчетная нагрузка сточных вод может колебаться от 3 до 30 м^3/га, что соответствует годовым оросительным нормам 2000-10000 м^3/га.

Санитарными нормами разрешается возделывание на ЗПО технических, кормовых и зерновых культур, а также древесно-кустарниковых насаждений.

Введение в севообороты многолетних трав, а также организация культурных пастбищ и сенокосов позволяют равномернее использовать сточные воды в течение года, увеличивать самоочищаемую способность и плодородие почвы.

По санитарно-ветеринарным соображениям кормовую продукцию с ЗПО рекомендуется подвергать профилактической обработке: например, предусматривать приготовление из трав витаминной муки, силоса и сенажа.

При обработке почв и ухода за культурами должны создаваться благоприятные условия для полного разложения веществ, вносимых со сточной водой. Способы и техника поливов на ЗПО различны. По санитарным соображениям рекомендуют преимущественно подпочвенное орошение и поверхностные поливы. Однако, как показали исследования, дождевание эффективнее указанных способов орошения из-за усиления аэрации стоков во время полета струи, а также лучшего обеспечения поливных норм, равномерности и автоматизации поливов.

Таким образом, учитывая разнообразие природно-климатических, хозяйственно-экономических и санитарно-гигиенических условий на конкретных объектах, наиболее целесообразными способами полива могут быть и дождевание, и поверхностное, включая затопление и подпочвенное орошение.

10.2. Использование теплых вод для сельского хозяйства

Интенсивное развитие тепловой и атомной энергетики связано с расходованием большого количества воды, значительная часть которой сбрасывается обратно в реки, озера и водохранилища, вызывая их термическое

загрязнение и нарушение водных экосистем. Поэтому максимальная утилизация обработанного тепла – актуальная задача. В сельском хозяйстве теплые воды используют для орошения полей, обогрева теплиц, жилых и коммунальных зданий, а также животноводческих комплексов.

Вода, необходимая для работы тепловых и атомных электростанций, в основном расходуется на выработку пара в котлах и конденсацию отработанного пара. Кроме того, они расходуются на охлаждение пара, масла, газа, воздуха, подшипников и при работе на твердом топливе – для гидравлического удаления золы и шлама.

Практически использование отработанного тепла возможно в любых природных зонах вблизи крупных электростанций. По своему химическому составу теплые воды незначительно отличаются от источников водоснабжения, за исключением водооборотных систем с водохранилищами – охладителями, брызгальными бассейнами и градирнями. Как правило, все отработанные воды энергетических объектов пригодны для орошения. При сборе их в водоемах температура верхних слоев воды на 8-15°С выше температуры придонных слоев. Эта разница во многом зависит от параметров водохранилища, климатических особенностей, времени года, объемов и температуры поступающих стоков. Поэтому более целесообразно воду для орошения забирать из верхних слоев водоемов и водохранилищ.

В зависимости от местоположения электростанций и параметров установленного на ней оборудования температура отработанных вод изменяется в следующих пределах:

зимой 10-20°С

весной 20-25°С

летом 35-40°С

Режим орошения сельскохозяйственных культур теплыми водами пока не разработан, имеются лишь отдельные рекомендации для некоторых культур. Это объясняется сложным воздействием большого числа факторов, определяющих интенсивность развития растений в условиях дополнительного увлажнения теплыми водами.

Положительное влияние теплых вод на прорастание культур наиболее заметно в весенний и осенний периоды, что объясняется дефицитом тепла в это время года.

При поливе теплой водой не рекомендуется допускать значительную разницу температур воздуха, воды и почвы. Это угнетающе действует на многие растения. Ряд исследований отмечает, что использованию теплых вод сопутствует и увеличение содержания азота, фосфора и других питательных веществ в почвах. Хорошие результаты получили при орошении

теплыми водами сахарных заводов, целесообразно также смешение хозяйственно-бытовых и производственных стоков с отработанными водами крупных энергетических объектов. Оценивая влияние поливов теплой водой на прорастание различных культур, можно отметить, что при этом в 1,5-2 раза возрастает мощность корневой зоны, значительно раньше созревают теплолюбивые растения (на 6-15 суток), повышается урожайность (на 15-25%) и уменьшается коэффициент водопотребления (на 8-25%). Рационально расширение площадей для выращивания овощей в закрытом грунте с орошением их теплыми водами и обогрев теплиц, что имеет большое значение, особенно для северных районов. Широкое использование теплых вод для нужд сельского хозяйства обеспечит не только повышение его продуктивности, но и будет способствовать снижению стоимости строительства и эксплуатации водооборотных систем водоснабжения при одновременном сокращении загрязнении природных вод.

10.3. Использование теплых вод для рыбоводства

Как показал опыт последних лет, отработанные воды тепловых и атомных электростанций могут успешно использоваться и для нужд рыбного хозяйства во внутренних водоемах.

Наиболее перспективными направлениями в развитии рыбоводства с использованием теплых вод следует считать:

- создание полносистемных рыбоводных хозяйств индустриального типа с бассейнами, сетчатыми сетками, цехами для инкубации икры и цехами, обеспечивающими производство живого корма. В этих хозяйствах осуществляется непрерывная технология получения посадочного материала и выращивания рыбы на протяжении всего года;
- использование водохранилищ-охладителей в качестве нагульных прудов для теплолюбивных рыб (карп и др.);
- организация питомников по выращиванию посадочного материала для товарных хозяйств;
- создание высоко производственных прудовых хозяйств, сочетающих методы прудового и садкового рыбоводства и обеспечивающих себя посадочными материалами.

Общая продолжительность непрерывного выращивания товарной рыбы обусловлена длительностью периода, в течение которого температура отработанной воды поддерживается 25-29°С. Наиболее перспективные воды рыб – карп, тестер (гибрид белуги со стерлядью), радужная форель (в зимнее время), угорь и др. Особое место занимают растительноядные

рыбы, являющиеся своеобразными биологическими мелиораторами. Они уничтожают высшую водную растительность, водоросли и отмершие гнию-щие растения, улучшая тем самым санитарное состояние водоемов. К этим рыбам относятся белый амур, белый и пестрый толстолобики, кото-рые обладают также способностью быстрого роста.

Наиболее прогрессивными являются метод выращивания рыбы в бассей-нах, представляющих собой капитальное железобетонное сооружение с регулируемым расходом воды. При использовании его, особенно в закры-том помещении, можно обеспечить соответствующий температурный ре-жим, если не в течение всего года, то на протяжении достаточно длитель-ного периода, а также очистку воды и организацию системы оборотного водоснабжения.

Таким методом можно ежегодно получать до 350-400 кг рыбы с м^2 пло-щади водной поверхности, что в несколько сот раз больше современного прудового рыбоводства в естественных водоемах. Выращивание товар-ной рыбы в стационарных или в плавучих садках проще в конструктивном отношении и требует значительно меньших затрат. Это определяется тем, что садки представляют собой емкости из сеток, устанавливаемые вре-менно в прудах или каналах. Продуктивность их по сравнению с бассей-нами в 3-4 раза меньше, что объясняется значительным органическим загрязнением водохранилищ-охладителей. Основной недостаток осадков – их незначительная управляемость, т.к. температура воды в водохрани-лищах-охладителях существенно изменяется в течение года и отдельные месяцы. Дальнейшее развитие рыбоводства на теплых водах будет проис-ходить вблизи крупных энергетических объектов, а также в зоне больших промышленных центров.

Глава 11. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

11.1. Общая оценка последствий гидротехнического строительства

Среди разнообразных видов антропогенной деятельности создание водохозяйственных систем приводит, как правило, к наиболее заметным изменениям в природных условиях. Эти изменения обусловлены масштабами осуществленных мероприятий, физико-географическими условиями рассматриваемого района и совокупностью ряда обстоятельств, в числе которых большое значение имеют социальные факторы.

По мере развития человеческого общества непрерывно расширяются работы, связанные с использованием водных и земельных ресурсов. Для начала этого века типичным было возведение водохозяйственных объектов, предназначенных для удовлетворения потребностей отдельных водопользователей в сравнительно незначительных объемах воды. Обычно это были небольшие оросительные системы, мелкие гидростанции, малые и средние водозаборные сооружения и др. Строительство таких объектов и их последующая эксплуатация не вызывали заметных преобразований в природных условиях.

Последующие десятилетия ознаменовались интенсивным развитием водохозяйственного строительства, что нашло выражение в создании крупных гидроузлов многоцелевого назначения и сопутствующих им больших водохранилищ, в прокладке каналов значительной протяженности с расходами воды до нескольких сотен кубометров в секунду, в орошении и осушении массивов площадью в сотни тысяч гектаров. Непрерывно возрастают объемы перераспределения речного стока и ведется подготовка межрегиональному перераспределению водных ресурсов.

Ряд существенных крупных водохозяйственных мероприятий повлек за собой заметные изменения в окружающей среде, а в некоторых

случаях вызвал отрицательные необратимые процессы в природных экосистемах.

Последствия, вызываемые гидротехническим строительством, могут быть как положительными, так и отрицательными. *Положительное влияние* обычно определяется народнохозяйственным значением построенной системы, в первую очередь ее ролью в улучшении условий жизни населения и развития экономики данного района. Определение экономического и социального эффекта, получаемого от осуществления того или иного проекта, базируется обычно на технико-экономическом сравнении ряда вариантов и тщательном обосновании наиболее выгодного из них. Учет и оценка *отрицательных последствий* стока изучены плохо и в ряде случаев носят приближенный характер. Следствием этого является недостаточная обоснованность отдельных проектов, которая может привести к серьезным экологическим просчетам.

Все изменения в окружающей среде, вызываемые водохозяйственными мероприятиями, следует прежде всего различать по территориальному признаку. При этом можно выделить три характерных зоны:

- отъем или искусственного аккумулирования воды
- транзита воды
- доставки и распределения воды.

Зону транзита принимают во внимание при большой протяженности каналов или закрытых водоводов и значительной их пропускной способности. Эта зона имеет существенное значение при осуществлении проектов межбассейнового и межрегионального перераспределения водных ресурсов.

Последствия водохозяйственного строительства могут проявляться *непосредственно и косвенно*. К числу первых относятся изменения водного баланса, затопление берегов и дна рек при создании водохранилищ, изменения гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режима рек, озер, водохранилищ и т.д. *Косвенные последствия* возникают через более продолжительный период времени с начала эксплуатации водохозяйственной системы и заключаются в изменении растительности, животного мира, усыхании болот, небольших водоемов и водотоков, снижении или повышении уровней подземных вод, образовании карстовых явлений и т.п. В отдельных случаях в районах проведения крупных водохозяйственных мероприятий возможны частичные изменения климата.

Отрицательные последствия водохозяйственной политики бывают *обратимыми и необратимыми*. Под первыми из них подразумевают такие, ликви-

дация и локализация которых возможна с использованием известных мер при соотвествующих финансовых затратах. *Необратимые последствия* характеризуются возникновением интенсивно развивающихся процессов, сопровождающихся разрушением сообщества существующих природных экосистем. Это происходит в тех случаях, когда по тем или иным причинам были нарушены пределы антропогенного воздействия на природную среду. Поэтому существенное значение приобретает соблюдение так называемого *предела экологической нагрузки* для каждого речного бассейна, земельного массива, рекреационной зоны и других территорий.

Существенное значение имеют последствия социального характера, возникающие в результате создания водохозяйственных систем. Здесь следует отметить изменение жизни населения, миграции людей в новые обеспеченные в достаточной степени водой и земельными ресурсами района, изменение условий труда и производства, создание благоприятной обстановки для отдыха, туризма и лечения. Все эти последствия относятся к категории положительных. К отрицательным последствиям относятся ухудшение санитарных условий в зонах водохранилищ со значительной сработкой уровней, что в совокупности с недостаточными мерами по прекращению различных видов загрязнений может вызвать эпидемиологическое заболевание и снижение трудоспособности, возникновение «черных бурь» на переосушенных болотах со значительной мощностью торфа и ряд других.

11.2. Влияние водохранилищ на природные условия

Создание водохранилищ позволяет обеспечить аккумулирование речного стока и его регулирование во времени для нужд различных водопользователей. В настоящее время в Казахстане имеется свыше 180 водохранилищ объемом более 1 млн м^3 каждое. При этом их общий объем превышает 90 км^3 и полезный достигает ___ км^3. Как правило, все крупные искусственные водоемы предназначены для многолетнего использования.

Водохранилища обладают многофакторными связями с окружающей средой, которая в свою очередь, оказывает влияние на их режим. Характер изменения природных условий обусловлен физико-географическими особенностями района, параметрами водохранилища (глубина, площадь, объем, форма в плане) и режимом его эксплуатации (величина сработки уровней, их частоты и продолжительность, объемы и время попусков в нижний бьеф и т.д.).

Наиболее заметное влияние на окружающую среду оказывают крупные водохранилища с полным объемом больше 1 км^3 и площадью зеркала свыше 100 км^2 (Бухтарма, Капшагай, Шардара).

Затопление и подтопление территорий

Наиболее заметное влияние проявляется при затоплении значительных площадей, большая часть которых была занята сельскохозяйственными или лесными угодьями. Компенсация их довольно часто связана с затруднениями, вследствие чего сельскохозяйственному производству причиняется соответствующий ущерб. При создании водохранилищ различают зоны постоянного и временного затопления, а также зону подтопления. Зона постоянного затопления навсегда исключается из прежнего хозяйственного использования, но одновременно земля, находясь под водой, начинает выступать в новом качестве. Она создает материальные ценности в виде электроэнергии, вырабатываемой гидростанциями, рыбной продукции, выращенной в водохранилище, дополнительной сельскохозяйственной продукции, полученной за счет орошения и т.д.

Зона временного затопления включает в себя площади, находящиеся в затопленном состоянии в течение непродолжительного времени. Обычно это земли, расположенные выше НПУ, которые можно использовать под сенокосы и пастбища или для других целей.

Образование зон подтопления связано с подъемом уровня подземных вод после затопления водохранилища. Этот процесс протекает очень медленно и обусловлен фильтрационными свойствами грунтов, режимом уровней водохранилища и притоком грунтовых вод извне. Ширина зоны подтопления в ряде случаев может быть значительной. Повышение уровня грунтовых вод сопровождается заболачиванием земель, подтоплением ряда объектов, ухудшением санитарных условий местности. Одновременно с этим наблюдается смена растительных ассоциаций и изменение животного мира.

11.3. Русловые процессы

Частые колебания уровней в водохранилище и связанное с этим переувлажнение масс грунта вызывают размывы и обрушение берегов; эти процессы усиливаются и динамическим воздействием волн. Наиболее характерны указанные явления для начального периода эксплуатации, особенно во время штормов когда обрушивается большие объемы грунта. В дальнейшем эти процессы постепенно затухают.

Повышение уровня подземных вод при затоплении вызывает оползневые явления, особенно в условиях лессовидных грунтов.

Осаждение наносов в верхнем бьефе существенно уменьшает их годовой сток ниже гидроузла. Кроме того, прекращение поступления мельчайших

наносов в нижний бьеф снижает плодородие пойменных земель, что вызывает необходимость внесения искусственных удобрений.

11.4. Гидрологический режим

Создание водохранилищ обеспечивает выравнивание колебаний среднегодового стока, что имеет положительное значение. Достаточные регулирующие емкости позволяют уменьшать расходы в период паводков, вследствие чего сокращаются затопления в нижнем бьефе, а в меженный период дополнительные попуски из водохранилища обеспечивают несколько повышенные по сравнению с естественными условиями уровни и расходы воды. Одновременно с этим могут происходить размывы в нижнем бьефе, интенсивность которых обусловлена напором, расходами и скоростью течения, а также типом грунтов, слагающих русло реки. Ограничение весенних попусков в нижний бьеф в составе комплексных гидроузлов иногда приводит к обсыханию пойменных земель и нерестилищ, что наносит ущерб сельскому и рыбному хозяйству.

Образование водохранилищ сокращает амплитуду колебаний уровней, как внутри сезонов, так и на протяжении года. Это относится к большинству гидроузлов на равнинных реках. Последствием создания водохранилищ является общее замедление водообмена в речной системе, что приводит к серьезным изменениям гидрохимического и гидробиологического режимов.

Существенно меняется температурный режим зарегулированного речного стока. Весной в нижний бьеф поступает более холодная вода, а осенью и зимой – более теплая. Заметные перемены происходят и в ледовом режиме. Удлиняется период ледостава, увеличивается толщина льда на 10-20% по сравнению с естественными условиями.

По сравнению с первоначальными условиями существенно возрастают потери на испарение.

Существенны также потери на фильтрацию в чаше водохранилищ.

Гидрохимический и гидробиологический режимы

В формировании их принимают участие природные, антропогенные надземные и атмосферные факторы.

К числу *природных факторов* относят географическое положение, гидрологический режим реки в первоначальном состоянии (объем стока реки и ее притоков, а также качество воды), рельеф чаши водохранилища и прилегающего водосброса, геологическое и гидрогеологическое строение,

почвенный покров, растительность, характер хозяйственного использования и т.п.

Немаловажную роль при этом будут играть состав и качество работ по подготовке чаши водохранилища к заполнению, заключающиеся в переносе строений дорог, удалении лесной и кустарниковой растительности, перемещении кладбищ и скотомогильников и т.п.

Антропогенные факторы оказывают доминирующее влияние на качество воды. Здесь прежде всего следует отметить режим эксплуатации водохранилища (величина, стоки и продолжительность сработки уровней, объемы попусков в нижний бьеф, скорости течения). Как показал опят, изменение гидрохимического и гидробиологического режима происходило в два этапа. В начале наблюдалось разложение затопленной растительности и почвенного покрова, вследствие чего накапливались автохтонные органические вещества, характеризующиеся большим содержанием аминного и амидного азота, углеводов, аминокислот и других органических соединений, являющихся питательной средой микроорганизмов и синезеленных водорослей. Распад биохимических неустойчивых автохтонных органических веществ сопровождается неприятными запахами, привкусами и токсическими продуктами разложения.

Второй этап формирования качества воды водохранилища обычно начинается через 2-4 года после заполнения и характеризуется интенсивным развитием сине-зеленных водорослей, вызывающих «цветение» воды. Отмирание сине-зеленных водорослей сопровождается потреблением большого количества растворенного кислорода, что отрицательно действует на водные экосистемы.

Изменение климата

Изучение влияния водохранилищ на климат пока находится в начальной стадии, поэтому результаты отдельных наблюдений не могут претендовать на исчерпывающую полноту. Установлено, что степень этого влияния зависит от географического расположения водохранилища, его объема, средней глубины, площади зеркала.

Водоемы, созданные в южных широтах способствуют частичному преобразованию существующего ландшафта. Наиболее крупные из них вызывают незначительное снижение среднегодовой температуры воздуха и особенно средней за вегетационный период. Иногда наблюдается некоторое увеличение количества атмосферных осадков, что благоприятно для сельского хозяйства.

Более заметные изменения вносят водохранилища, созданные в северных широтах. Как правило, наблюдается повышение общей увлажненности и снижение континентальности местного климата. Создание

крупных водоемов на севере иногда вызывает сокращение продолжительности вегетационного периода в зонах, прилегающих к ним, что оказывает неблагоприятное влияние на условия роста сельскохозяйственных культур.

Изменение ландшафта

По мере развития водохозяйственного и мелиоративного строительства все большее внимание уделяют вопросам эстетики, в связи, с чем особое значение приобретает ландшафтная ценность каждого водохранилища. Создание искусственных водоемов, помимо удовлетворения запросов участников водохозяйственного комплекса, как правило, преобразует внешний вид местности и способствует лучшему зрительному восприятию. Особенно это относится к средним и небольшим водохранилищам, расположенным в холмистой, предгорной и горной зонах, где они удачно гармонируют с окружающей средой, значительно повышая рекреационный потенциал района.

Несколько сложнее происходит преобразование ландшафтов при строительстве крупных водохранилищ на равнинных реках. Они обладают большим рекреационным потенциалом, а также возможностями эффективного рыбоводства и звероводства.

Социально–экономические аспекты

Создание водохранилищ порождает ряд последствий, которые проявляются на протяжении длительного времени. Обычно это выражается в появлении новых отраслей производства, развитии тепловой и атомной энергетики, дополнительном притоке населения и существенном возрастании его плотности в пределах рассматриваемого района. Значительно увеличивается и сезонная нагрузка за счет отдыхающих, туристов и спортсменов. Все это сопровождается интенсивным освоением новых земель под городскую застройку и дороги, созданием баз отдыха и т.п. Интенсификация антропогенной деятельности неизбежно сопутствует повышение уровня загрязненности атмосферы, почвогрунтов и природных вод. В связи с этим возникает необходимость решения новых задач о влиянии окружающей среды на водохранилища и разработке соответствующих норм допустимых экологических нагрузок.

Изменение природных условий по трассам транзита воды

Ранее было отмечено, что оценка этих изменений приобретает практическое значение по мере увеличения дальности транспортировки воды, ибо в пределах обычных водохозяйственных комплексов длина магистральных каналов или водоводов незначительна. Исключение составляют лишь отдельные магистральные каналы значительно большей протяженности (например, канал Иртыш – Караганда).

Изменения окружающей среды по трассе магистральных каналов мелиоративных систем мало отличаются от изменений природных условий соответствующих мелиорируемых территорий.

К числу наиболее важных социально-экономических последствий, проявляемых по более протяженным трассам транзита воды, относятся улучшение условий жизни населения и многоотраслевое развитие экономики. Кроме того, длинные каналы могут быть использованы в качестве воднотранспортных путей.

Одновременно с положительным эффектом строительства крупных каналов для перераспределения речного стока существует ряд негативных последствий.

К наиболее важным из них относятся следующие:

Потери полезной площади

Прокладка крупных каналов сопряжена со значительной утратой полезного земельного фонда. Так, по предварительным подсчетам, ширина полосы отчуждения для канала переброски стока сибирских рек расходом 1000 $м^3/сек$ достигнет 1 км, а с учетом подтопления не менее 5-19 км.

Гидравлические аспекты

Строительство крупных каналов без облицовок приводит к большим потерям на фильтрацию (8-15% величины расхода). Это вызывает подъем уровня грунтовых вод и во многих случаях влечет за собой подтопление прилегающей к каналу территории.

В условиях неустановившегося движения в канале неизбежно будет происходить русловые процессы, сопровождающиеся размывом дна и образованием гряд на отдельных участках.

Эксплуатация необлицованных каналов вследствие русловых процессов и других причин характеризуется постепенным увеличением коэффициента шероховатости, развитием влаголюбивой растительности и тенденций к ухудшению качества воды.

Качество воды

В отличие от водохранилищ каналы переброски стока отличаются более сложным сочетанием источников их загрязнения. Обычно эти трассы имеют большую длину, в пределах которой располагается сравнительного немного очистных сооружений и пунктов контроля качества воды. На всем протяжении канала в него могут смываться загрязнения с поверхности прилегающих земель и поступать неучтенные промышленные и бытовые стоки. С учетом приведенных обстоятельств самоочищающая способность канала постепенно сожжет ухудшаться. Поэтому поддержание над-

лежащего качества воды по трассам переброски речного стока – сложная задача.

Социально-экономические аспекты

Нормативная эксплуатация каналов для транспортирования воды немыслима без заселения их трасс, что предполагает создание многих населенных пунктов, подъездных путей и ряда коммунальных объектов (экономическая нагрузка).

Наряду с отмеченным канал вместе с полосой отчуждения является серьезным препятствием на пути передвижения животных (диких), а также может нарушать места обитания диких птиц и рыб. При несоблюдении мер по рекультивации резервов возможно заболачивание последних и развитие водной растительности, что будет ухудшать санитарные условия местности.

11.5. Влияние орошения на природные условия

Общеизвестными являются положительные последствия развития орошения. В их числе следует назвать расширение границ культурного земледелия с целью получения высоких гарантированных урожаев, а также удовлетворение потребностей сопутствующих участников мелиоративных комплексов, в частности водоснабжения, рыбоводства и рекреаций. Значительны и социальные последствия мелиоративного строительства, выражающиеся в повышении материального и духовного уровня жизни людей. Вместе с тем быстрый рост орошаемых массивов начинает оказывать все более заметное влияние на природную среду. В особенности это относится к зонам недостаточного и неустойчивого увлажнения, в пределах которых расположена большая часть орошаемых земель.

Наибольшее изменение проявляются в водном балансе почвенного покрова и интенсивности циркуляции влаги, солей и тепла в корнеобитаемом слое.

Как правило, в границах орошаемого поля происходит снижение температуры и повышение влажности приземного слоя воздуха, возрастает дополнительное испарение за счет роста сельскохозяйственных культур.

Развитию орошения, особенно с использованием поверхностных способов полива, неизбежно сопутствует рост фильтрационных потерь, что вызывает заболачивание и интенсификацию процессов засоления. Это особенно заметно при неглубоком залегании грунтовых вод и их повышенной минерализации.

Одним из видов отрицательного влияния орошения на окружающую среду является рост объемов возвратных вод, степень минерализации которых может быть значительной. В этих водах содержатся различные соли, вымываемые из почвогрунтов, а также удобрения, пестициды и животноводческие стоки. Сокращение расходов рек вследствие развития орошения и сопутствующих водопользователей в сочетании с ростом минерализации возвратных вод и действием других антропогенных факторов заметно способствует общему снижению качества природных вод. Примером в этом орошении могут быть реки – Сырдарья, Амударья, Талас, Шу и др.

В районах орошаемого земледелия наблюдается изменение природных ландшафтов, появляется новая растительность, в том числе и много сорняков.

Ввиду изменения гидрохимического режима водотоков, используемых в качестве приемников возвратных вод, в них наблюдается гибель ценных, появление малоценных пород рыб.

Орошение вызывает изменение численности и видов насекомых. Они могут размножаться в каналах, водохранилищах и на орошаемых участках. Заболачивание части орошаемой площади и сопутствующее ему интенсивное развитие насекомых может вызвать появление различных инфекционных заболеваний среди людей и животных.

К радикальным мерам по борьбе с этими явлениями относятся:

- прокладка трубопроводов
- использование наиболее прогрессивных способов полива, обеспечивающих наибольшую экономию воды и т.д.

Глава 12. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

12.1. Оценка водоохранных мероприятий

Денежная оценка природных ресурсов важный компонент в теории оптимального функционирования экономики страны. Известно, что водные ресурсы – государственная собственность. Однако это не означает, что они не должны иметь денежные оценки. Бесплатное пользование природными ресурсами в дальнейшем не может быть допущено.

Вопросами эффективного использования и охраны водных ресурсов в последние годы уделяется все большее внимание. Мероприятия, направленные на совершенствование использования и охраны водных ресурсов, в особенности в районах, для которых необходима дальная переброска вод, требует выполнения большего объема строительных работ. Поэтому особенностью водохозяйственных объектов является значительная капиталоемкость, длительные сроки строительства и освоения.

Многообразие и взаимосвязи водохозяйственных мероприятий их комплексный характер, а также капиталоемкость и длительность строительства объектов, как правило, предопределяет первостепенность вопросов определения экономической эфффективности использования и охраны водных ресурсов.

Определение экономической эффективности использования водных ресурсов и проведение водоохранных мероприятий состоит в сопоставлении затрат на эти мероприятия с получаемыми от них результатами. Такого рода сопоставления необходимы прежде всего для определения общей экономической эффективности, при помощи которой получают ответ на вопрос о том, оправдываются ли производимые затраты. Величиной, характеризующей затраты, чаще всего являются капитальные вложения **К**, а в качестве экономического результата используют данные в сумме прибыли **П**, получаемый благодаря этим капитальным вложениям. Если, например, капитальные вложения в водоохранные мероприятия составляют 10 млн.у.е. и обеспечивают получение ежегодной прибыли 13 млн.

у.е., то срок возврата капитальных вложений составит 7 лет, ято является благоприятным показателем общей экономической эффективности при нормативной величине **Т** = 10 лет.

Одно и тоже мероприятие может быть выполнено с применением разных технических вариантов его осуществления, различающихся как по капитальным вложениям, так и по ежегодным издержкам или себестоимости годовой продукции **С**. Таких вариантов может быть несколько. Из них необходимо выбрать самый экономичный. Выбирают этот вариант путем определения сравнительной экономической эффективности, которую можно найти либо по приведенным капитализированным затратам:

$$З = К + ИТ_н$$

где $К$, $И$ – капитальные вложения, ежегодные издержки, $Т_н$ – нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений ($Т_н$ = 8,3 года)

Либо по приведенным к одному году затратам:

$$З = И + Е_н К$$

где $Е_н$ – номативный коэффициент эффективности ($Е_н = Т_н^{-1}$).
В настоящее время $Е_н$ = 0,12.

Технический вариант, имеющий минимальное значение приведенных затрат $З_н$ или $З$ признается наилучшим.

Если, например, водоохранные мероприятия можно свести к разбавлению стоков, отведенных в реку или водоем (I-вариант) или при помощи глубокой доочистки на очистных сооружениях (II-вариант), то необходимо по каждому из этих вариантов иметь данные о капитальных вложениях и ежегодных издержках. При капитальных вложениях по I-варианту $К_I$ = 15 млн.у.е., а по II-варианту $К_{II}$ = 10 млн.у.е., ежегодные издержки соответственно $И_I$ = 2,1 млн.у.е./год, $И_{II}$ = 2,4 млн.у.е./год, приведенные капитализированные затраты составляют: по I-варианту $З_{KI}$ = 32,4 млн.у.е., по II-варианту $З_{KII}$ = 29,9 млн.у.е.

Более экономичным оказался вариант с очистными сооружениями, поскольку приведенные капитализированные затраты по этому варианту на 2,5 млн.у.е. меньше, чем по I-варианту.

Определение общей и сравнительной экономической эффективности обязательно для всех объектов, так как при проведении любого мероприятия необходимо знать, насколько эффективно данное мероприятие и является ли выбранный вариант осуществления данного мероприятия наиболее экономичным (сравнительная эффективность). Оба эти способа определения экономической эффективности не заменяют и не дополняют друг друга и не должны противопоставляться.

При определении общей экономической эффективности используют показатель срока возврата капитальных вложений:

$$\Omega = K/П \leq \Omega_н$$

Или коэффициент общей экономической эффективности (рентабельности):

$$r = 1/\Omega = П/K \geq r_н$$

где $н$ – индекс, обозначающий нормированную величину.

Для действующих объектов общую экономическую эффективность определяют как отношение годовой прибыли к среднегодовым фондам (основным и оборотным). Показателем общей экономической эффективности для проектируемых объектов считают коэффициент рентабельности.

Нормативный коэффициент рентабельности не установлен, но по некоторым отраслям народного хозяйства его принимают от 0,10 до 0,16 в зависимости от специализации хозяйств. Для расширяющихся или реконструируемых предприятий необходимо, чтобы коэффициент рентабельности этого предприятия был не ниже, чем до расширения или реконструкции.

При оценке водоохранных мероприятий, имеющих своей целью борьбу с загрязнениями вод и другими водами ущерба от изменения качества воды, можно применять показатели экономической эффективности капитальных вложений, учитывающие снижение убытков.

Пример. *Предположим, что в результате дополнительных капитальных вложений ΔK = 10 млн.у.е на водоохранные мероприятия, до осуществления которых ежегодно убытки составляли $У_1$ = 6 млн.у.е., они снизились до $У_2$ = 4 млн.у.е. Тогда срок возврата капитальных вложений:*

$$\Omega = \Delta K/(У_1 - У_2) = 10/(6–4) = 5 \text{ лет}$$

А коэффициент общей эффективности:

$$r = (У_1 - У_2)/K = (6–4)/10 = 0.2$$

Если $\Omega = 5 < \Omega_н$, то капитальные вложения в водоохранные мероприятия оправдают себя.

12.2. Сравнительная экономическая эффективность вариантов водоохранных мероприятий

Сравнительная экономическая эффективность определяется при планировании и проектировании водохозяйственных объектов с учетом охраны окружающей среды с целью выбора оптимального варианта.

Обязательным условием при определении сравнительной экономической эффективности является приведение сравниваемых вариантов к сопоставительному виду по материальному эффекту, т.е. по объему продукции, ее составу и качеству; по функциям сравниваемых вариантов сооружений; по эффекту защитных мероприятий; по объему и степени очистки вод и т.д.

Основным способом определения сравнительной экономической эффективности капитальных вложений является исчисление суммы приведенных затрат, состоящих из единовременных капитальных вложений и годовых издержек, а критерием эффективности служит минимум расчетных затрат. Расчетные затраты **З** можно определять за нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $\mathbf{T_н}$ или за один год. В первом случае суммируют капитальные вложения **К** и годовые издержки **И** за нормативный срок окупаемости $\mathbf{T_н}$, а во втором – годовые издержки и капитальные вложения, умноженные на коэффициент сравнительной экономической эффективности $E_н = T_н^{-1}$.

Исходными данными при определении сравнительной экономической эффективности служат только капитальные вложения и издержки производства по всем сравнительным вариантам. В отличие от исходных данных, требующихся при определении общей экономической эффективности, для сравнительной эффективности нет необходимости в данных о стоимости продукции или выполняемой работы, поскольку она должна быть одинаково во всех сравнительных вариантах.

Расчетные затраты **З** определяют по формулам:

$$З = К + T_н И$$

$$З = И + E_н К$$

В настоящее время для определения сравнительной экономической эффективности предусмотрено применение восьмилетнего нормативного срока окупаемости и коэффициента сравнительной экономической эффективности соответственно – 0,12.

Следует иметь в виду, что полученные суммы расчетных затрат – условные величины, имеющие значение лишь для сравнения и выбора вариантов. Их нельзя использовать в сметах и других материалах.

Показатели сравнительной экономической эффективности чаще всего используют при решении отдельных производственных задач, а также для выбора водоохранных мероприятий. В некоторых случаях они играют очень важную роль и при решении общегосударственных вопросов.

При определении экономической эффективности капитальных вложений, в особенности по крупным водохозяйственным объектам, для осуществле-

ния которых требуется длительное время, необходим учет фактора времени, т.е. сроков освоения капитальных вложений, с одной стороны и срок вывода объекта на проектный уровень получения продукции и прибыли – с другой.

Обозначив через $\mathbf{K_t}$ капитальные вложения в год **t**, приняв число лет строительства водохозяйственного объекта равным $\mathbf{t_c}$ и назначив год проведения τ, можно вычислить приведенные капитальные вложения K_τ по формуле:

$$K_\tau = \sum_{1}^{tc} K_t (1 + E_B)^{\tau - 1}$$

где E_B – нормативный коэффициент, учитывающий потери в производстве из-за омервления капитальных вложений.

Величина E_B до сих пор в технико-экономических расчетах не нормирована. Доказано лишь, что она должна быть с нормативной величиной коэффициента сравнительной ффективности. Ряд специалистов полагают, что $E_B = E_H$, но есть сторонники другой точки зрения, считающие что $E_B < E_H$.

Рекомендуется принимать $E_B = 0{,}8E_H$.

В первый год эксплуатации водохозяйственных объектов и функционирования водоохранных мероприятий ежегодно издержки изменяются на $\Delta И_t$. Предположим, что коэффициент E_B можно использовать для приведения величин $\Delta И_t$.

Если обозначив год начала эксплуатации через $t_э$, а год вывода объекта на проектный уровень t*, то формула приведения ежегодных издержек $И_\tau$ будет иметь вид:

$$\bar{И}_\tau = \sum_{t_э}^{t_*} \Delta И_t (1 + E_в)^{\tau - 1}$$

12.3. Денежная оценка использования и охраны водных ресурсов

Для обеспечения более целесообразного и эффективного использования водных ресурсов большую роль играет их экономическая оценка. В условиях хозрасчетных отношений важнейшим мероприятием по стимулированию экономного и эффективного использования водных ресурсов является введение платы за воду.

Плата за воду должна способствовать повышению эффективности производственно-хозяйственной деятельности предприятия с учетом факторов охраны окружающей среды. Кроме решений актуальной задачи созданная

хозрасчетных взаимоотношений между предприятиями, связанными с водным хозяйством, плата за использование водой позволит накапливать средства для реализации их в водоохранных целях.

В качестве примера ниже приводится *таблица*, в которой проведено ориентировочное определение цен воды, доведенный до границ предприятия и цен на воду, доведенный до границ предприятия и цен на воду, доведенную непосредственно до места ее потребления (до поля, фермы, доменного цеха и т.д.).

Охрана водных ресурсов от загрязнения пока слабо стимулируется экономическими методами. Недостаточно разработана система тарифов за сброс сточных вод в канализационную сеть в зависимости от степени загрязнения водных ресурсов.

Исследования направлены на разработку следующих видов оплаты очистки и отведения стоков:

- за очистку стоков на кооперированных или районных очистных сооружения;
- за сброс недостаточно очищенных сточных вод в реки и водоемы маловодных, густо-населенных промышленных районов, где проводятся мероприятия по увеличению водных ресурсов;
- за сброс недостаточно очищенных сточных вод в реки, водоемы с использованием самоочищающей способности.

№	Составные элементы цены на воду	Цент за м^3	% к итогу
1	Прямые эксплуатационне затраты водохозяйственных систем	0,32	21,1
2	Амортизация основных фондов водохозяйственных систем (2,5% основных фондов)	0,40	26,3
3	Компенсация потерь воды (0,5 цент за 1м^3 безвозвратного потребления и потерь)	0,24	15,8
	ИТОГО:	0,96	63,2
4	Прибыль водохозяйственных систем (3,5% основных фондов) В том числе плата за пользование фондами (3% основных фондов)	0,56	36,8
	ВСЕГО:	1,52	100,0

Например, тариф на очистку стоков на кооперированных или районных очистных сооружениях $Ц$ предлагает определить по формуле: (

$$Ц = И + Р\,(1 + e_1) + e_2 КФ \pm Л$$

где $И$ – материальные издержки на очистку стоков; $Р$ – оплата труда; e_1 – норма чистого дохода, пропорциональна оплате труда; e_2 – норма чистого дохода, пропорциональна основным и оборотным производственным фондам; $К$ – коэффициент, учитывающий эффективность фондов; $Ф$ – производственные фонды; $Л$ – надбавки к тарифу или льготы за улучшение экономических параметров работы очистных сооружений.

Для густонаселенных районов с высокоразвитым промышленным и сельскохозяйственным производством, где уже в настоящее время наблюдается дефицит воды и проведены или будут проводиться водохозяйственные мероприятия по увеличению водных ресурсов, размер оплаты за сброс неочищенных сточных вод вычисляют по формуле:

$$Ц = [И + Р(1 + e_1) + e_2КФ]Q_р$$

где $Q_р$ – количество свежей воды, идущей для разбавления сточных вод до допустимой концентрации.

В практике планирования и проектирования водохозяйственных объектов затраты на водообеспечение рассчитывают в основном по двум методам.

В первом методе учитывают затраты только на забор, подъем и транспортировку воды от источников к потребителю, а также на очистку и отведение сточных вод.

Второй метод, кроме перечисленных затрат, дополнительно учитывают затраты на мероприятия по регулированию водотока для разбавления недостаточно очищенных сточных вод. Однако эти методы не учитывают дефицитность водных ресурсов, характерную для некоторых водохозяйственных систем и бассейнов. В этом случае, кроме затрат, определяемых по первым двум методам, должна быть учтена экономическая оценка воды в бассейне.

Затраты на водообеспечение $З_В$ находят по формуле:

$$З_В = З_{ВС} + Э_О$$

где $З_{ВС}$ – затраты на водоснабжение, очистку и отведение сточных вод;
$Э_О$ – экономическая оценка воды в бассейне.

В тех районах, где водные ресурсы ограничены, экономическая оценка воды может бытьопределена по затратам на замыкающие мероприятия или по оценке воды как природного ресурса.

Под затратами на замыкающие мероприятия понимают наибольшие затраты, необходимые для получения дополнительной единицы водного ресурса, в варианты, замыкающие водохозяйственный баланс.

Тогда $Э_О = Э_З$, $Э_З$ – затраты на замыкающие мероприятия для пополнения водного ресурса. При необходимости переброски водных ресурсов из других водохозяйственных систем или бассейнов затраты на замыкающие мероприятия определяют по формуле:

$$З_З = З_Р + З_П$$

где $З_Р$ – затраты на регулирование стока в реке, откуда ведется переброска;
$З_П$ – затраты на переброску водных ресурсов.

Таким образом, эффективность природоохранных мероприятий при развитии больших водохозяйственных систем должна устанавливаются с помощью различных методических подходов. Только всесторонний анализ приводит к оптимальному решению.

ГЛОССАРИЙ

Водное хозяйство – отрасль экономики, связанная с использованием, охраной и воспроизводством водных объектов;

Воды – совокупность всех вод, сосредоточенных в водных объектах;

Охрана вод – система мер, направленных на предотвращения, ограничение и устранение последствий загрязнения, засорения и истощения вод.

Нормы охраны вод – установленные значения показателей, соблюдение которых обеспечивает экологическое благополучие водных объектов и необходимые условия для охраны здоровья населения и водопользования.

Правила охраны вод – установленные требования, регламентирующие деятельность человека в целях соблюдения норм охраны вод.

Качество воды – характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для конкретных видов водопользования.

Критерий качества воды – признак, по которому производится оценка качества воды по видам водопользования.

Нормы качества воды – установленные значения показателей кач5ества воды по видам водопользования.

Лимитирующий признак вредности вещества в воде – признак, характеризующийся наименьшей безвредной концентрацией вещества в воде.

Индекс качества воды – обобщенная числовая оценка качества воды по совокупности основных показателей и видам пользования.

Контроль качества воды – проверка соответствия показателей качества воды установленным нормам и требованиям.

Регулирование качества воды – воздействие на факторы, влияющие на состояние водного объекта, с целью соблюдения норм качества воды.

Водопользование – использование водных ресурсов в порядке, установленном законодательством Республики Казахстан, для удовлетворения собственных нужд и (или) коммерческих интересов физических и юридических лиц;

Общее водопользование – водопользование без применения сооружений или технических устройств, влияющих на состояние вод.

Специальное водопользование – водопользование с применением сооружением или технических устройств.

Источник водопользования – водный объект, который может быть использован для удовлетворения потребностей водопользователей;

Использование водных объектов – извлечение полезных естественных свойств водных объектов для удовлетворения материальных или иных потребностей физических и юридических лиц;

Водопользователь – физическое или юридическое лицо, которому в порядке, установленном законодательством Республики Казахстан, предоставлено право использования водных ресурсов для удовлетворения собственных нужд и (или) коммерческих интересов;

Водопотребитель – физическое или юридическое лицо, потребляющее воду из водных объектов или пользующееся услугами водохозяйственных организаций и получающее воду из систем водоснабжения;

Водохозяйственные организации – юридические лица, деятельность которых связана с регулированием, доставкой, воспроизводством вод, водоподготовкой, отведением сточных вод и эксплуатацией водных объектов;

Государственный водный кадастр – систематизированный свод данных учета вод по количественным и качественным показателям, регистрации водопользований, а также данных учета, использование вод.

Комплексное использование водных ресурсов – использование водных ресурсов для удовлетворения нужд населения и различных отраслей народного хозяйства, при котором находят экономически оправданное применение все полезные свойства того или иного водного объекта.

Схема комплексного использования и охраны вод – предпроектный документ, определяющий основные водохозяйственные и другие мероприятия, подлежащие осуществлению для удовлетворения перспективных потребностей в воде населения и народного хозяйства, а также для охраны вод или предотвращения их вредного воздействия.

Водопотребление – потребление воды из водного объекта или из систем водоснабжения.

Режим водопотребления – изменение во времени суточных и часовых расходов воды потребителей

Безвозвратное водопотребление – водопотребление без возврата воды в водный объект.

Норма водопотребления – установленное количество воды на одного жителя или на условную единицу, характерную для данного производства.

Лиманное орошение – использование талых, паводковых и других вод для затопления сельскохозяйственных угодий с помощью системы гидротехнических сооружений или без них;

Водохозяйственный баланс – результаты сопоставления имеющихся в бассейне или на данной территории водных ресурсов с их использованием на различных уровнях развития народного хозяйства.

Водохозяйственная система – комплекс взаимосвязанных водных объектов и гидротехнических сооружений, предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны вод.

Водоохранный комплекс – система сооружений и устройств для поддержания требуемого количества и качества воды в заданных створах или пунктах водных объектов.

Водосбережение – система мер, обеспечивающая рациональное и эффективное использование водных ресурсов;

Особо важные групповые системы водоснабжения – групповые системы водоснабжения питьевой воды, обслуживающие более одного населенного пункта, имеющие приоритетность и социальную значимость и отнесенные к категории особо важных систем группового водоснабжения Правительством Республики Казахстан;

Уполномоченный орган в области использования и охраны водного фонда – государственный орган, осуществляющий функции управления и контроля в области использования и охраны водного фонда;

Хозяйственно–питьевые подземные воды – подземные воды, по своему качеству в естественном состоянии или после обработки отвечающие нормативным требованиям и предназначенные для питьевых и бытовых нужд человека либо для производства питьевой продукции;

Производственно–технические подземные воды – подземные воды, которые по своему качеству и физическим свойствам используются или могут быть использованы для производственно-технического водоснабжения;

Вредное воздействие вод – отрицательное влияние вод на хозяйственную и иную деятельность в результате наступления чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;

Зона санитарной охраны – территория и акватория, на которых устанавливается особый санитарно-эпидемиологический режим для предотвра-

щения ухудшения качества воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и охраны водопроводных сооружений.

Прибрежная водоохранная зона – территория и акватория, на которых устанавливается особый санитарно – эпидемиологический режим для предотвращения ухудшения качества воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и охраны водопроводных сооружений.

Прибрежная водоохранная зона – территория, прилегающая к акваториям водных объектов, на которой устанавливается специальный режим для предотвращения загрязнения, засорения и истощения вод.

Водоохранная полоса – территория шириной не менее двадцати метров в пределах водоохранной зоны, прилегающая к водному объекту и водохозяйственным сооружениям, на которой устанавливается режим ограниченной хозяйственной деятельности;

Сточные воды – воды, отводимые после использования в бытовой и производственной деятельности человека.

Норма состава сточных вод – перечень веществ, содержащихся в сточных водах, и их концентрации, установленные нормативно-технической документацией.

Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ – величины допустимого содержания загрязняющих веществ в водных объектах и воздействие физических факторов на водную среду, устанавливаемые в целях охраны здоровья человека и предотвращения вредного влияния на растительный и животный мир;

Обработка сточных вод – воздействие на сточные воды с целью обеспечения их необходимых свойств и состава.

Очистка сточных вод – обработка сточных вод с целью удаления из них определенных веществ.

Обеззараживание сточных вод – обработка сточных вод с целью удаления из них патогенных и санитарно-показательных микроорганизмов.

Нормативно–очищенные сточные воды – сточные воды, отведение которых после очистки в водные объекты не приводит к нарушению норм качества в контролируемом створе или пункте водопользования.

Приложение 1.

Нормы нагрузки осветленных бытовых сточных вод на поля орошения (районы со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 300–500 м)

Среднегодовая температура воздуха, °С	Сельскохозяйственные культуры	Нагрузка на поля орошения, м/га в сут, в зависимости от грунта			
		Тощая глина	Суглинок	Супесь	Песок
До 3,5	Огородные Полевые	20 10	30 15	40 20	60 30
3,5–6	Огородные Полевые	25 15	35 20	50 25	75 40
6,1–9,5	Огородные Полевые	35 20	45 25	60 30	80 40
9,6–11	Огородные Полевые	50 25	60 30	70 35	85 40
11,1–15	Огородные Полевые	60 30	70 35	80 40	90 45

Примечание: Для районов со среднегодовым количеством атмосферных осадков 500-700 мм, нормы нагрузки на поля орошения следует уменьшать на 10-15%. Для районов со среднегодовой нормой осадков более 700 мм – на 15-25%. Больший процент принимают для суглинистых грунтов, меньший – для песчаных грунтов.

Приложение 2.

Нормы нагрузки осветленных сточных вод на поля фильтрации (районы со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 300–500 мм)

Грунт	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка на поля фильтрации, $м^3$/га в сут, при глубине грунтовых вод, м		
		1,5	2	3
Легкий суглинок	До 3,5	50	55	60
	3,5–6	60	70	75
	6–11	70	75	85
	11–15	80	85	100
Супесь	До 3,5	80	85	100
	3,5–6	90	100	120,
	6–11	100	ПО	130
	11–15	120	130	150
Песок	До 3,5	120	140	180
	3,5–6	150	175	225
	6–11	160	190	235
	11–15	180	210	260

Примечания: 1. Для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 500-700 мм нормы нагрузки на поля фильтрации следует уменьшать на 15-25%, а для районов со среднегодовой высотой слоя более 700 мм – на 25-35%, при этом больший процент снижения нагрузки принимают для суглинистых грунтов, а меньший – для песчаных. 2. Нормы нагрузок для глинистых и прочих фунтов, не приведенные в таблице, следует принимать по данным эксплуатации полей, работающих в аналогичных условиях.

Приложение 3.

Форма для сравнения различных вариантов проектных решений

Технико–экономические показатели	Единица измерения	Варианты			
		I	II	III	IV
Производительность:					
суточная	тыс. м^3				
годовая	млн. м^3				
Протяженность трассы водоводов (коллекторов)	км				
Общая длина трубопроводов	км				
Площадь территории	га				
Стоимость строительства:	тыс. тенге				
в том числе, строительно – монтажных работ	тыс. тенге				
Оборудование и прочее	тыс. тенге				
Годовые эксплуатационные расходы	тыс. тенге				
Себестоимость 1 м^3 воды (сточных вод)	тенге				
Численность обслуживающего персонала	чел.				
Годовая потребность:					
в электроэнергии	тыс. кВт				
в тепловой энергии	Гкал				
реагента	тонн				
Расход стальных труб	тыс.т				
Продолжительность строительства	год				
Приведенные затраты	тыс. тенге				
Приведенные затраты на 1 м^3 годовой производительности	тенге				

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.

2. Тонкопий М.С. Экология и экономика природопользования: Учебник. – Алматы: Экономик С, 2003. – 592 с.

3. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии: Учебник для вузов / Под ред. И.И. Мазура. – М.: Высш. шк., 1999. – 447 с.

4. Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов; Под ред. С.В. Яковлева. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с., ил.

5. Жуков А.И., Монгайт Л.И., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод. (Справочное пособие) под ред. А.И. Жукова. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.

6. Рихтер Л.А. и др. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций:Учебник для вузов / Л.А. Рихтер, Э.П. Волков, В.П. Покровский; Под ред. П.С. Непорожнего.-М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с., ил.

7. СНиП РК 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. Астана, 2005

8. Проектирование сооружений для очистки сточных вод / Всесоюз. комплекс. н.- и. и конструк.-технолог. Ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.: ил. – (Справ. пособие к СНиП).

9. Абелев М.Ю., Кругов В.П., Левченко А.П. Проектирование инженерных коммуникаций на просадочных грунтах. // Ускорение научно-технического прогресса в фундаменто-строении: Сб. научн. тр. НИИОСП. Т. 2: Стройиздат, 1987. – С.155.

10. Алексеев В.И., Винокурова Т.Е., Пугачев Е.А. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий. Учебное пособие для вузов. М, АСВ, 2003. – 176 с.

11. Алферова Л.А., Нечаев А.П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. М., Стройиздат, 1984. – 272 с. 4. Бекер М.Е., Лиепиньш Г.Н., Райпулис Е.П. Биотехнология М.: ВО Агропромиздат. 1990. – 334 с.

12. Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 200 с.

13. Вили К., Детье В. Биология. Биологические процессы и законы. М.: Мир 1974. – 822 с.

14. Водный кодекс Российской Федерации. М.: «Ось-89». 1995. – 80 с.

15. Водоснабжение и водоотведение. Наружные сети и сооружения. Справочник под ред. Б.Н. Репина. М.: «Высшая школа», 1995. –

16. Воронов Ю.В. Саломеев В.П., Ивчатов А.Л. Реконструкция и интенсификация работы канализационных сооружений. М.: Стройиздат,. 1989. – 224 с.

17. Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л. «Примеры расчетов биологических фильтров и станций биофильтрации. Учебные пособия для вузов. М.: МИСИ, 1989. – 72 с.

18. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. – 129 с.

19. Евилевич А.М., Евилевич В.А. Утилизация осадков сточных вод. – Л.: Стройиздат, Лен. отд.,1988. – 248 с.

20. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.

21. Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения. Учебник для ВУЗов. М: Стройиздат, 1987. – 336 с.

22. Калицун В.И., Ласков Ю.Н., Воронов Ю.В., Алексеев Е.В. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод. Учебное пособие для ВУЗов. М.: Стройиздат, 2000. – 272 с.

23. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. В.Н. Самохина. Изд. 2-е. М., Стройиздат, 1981. – 639 с.

24. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. Учебник для ВУЗов. М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

25. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Журов В.Н., Репин Б.Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. М.: Стройиздат. 1978. –

26. Карелин Я.А., Журов В.Н., Жуков Д.Д. Очистка сточных вод в биологических прудах М.: МИСИ. 1986. – 72 с.

27. Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Контроль качества воды – 2-е издание – М.: Стройиздат, 1986. – 158 с.

28. Кичигин В.И. Агрегация загрязнений воды коагуляцией. Учебное пособие. – М: АСВ, 1994. – 100 с.

29. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных очистных сооружений. Учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1987. – 256 с.

30. Левченко А.П. Устройство сетей водопровода и канализации на просадочных грунтах. – М: Изд-во МГПУ, 1995. – 66 с.

31. Ливчак И..Ф., Воронов Ю.В., Стрелков Е.В., Охрана окружающей среды. Учебник для ВУЗов. М.: «Колос», 1995 – 272 с.

32. Лукиных А.А., Лукиных Н.А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. Справочное пособие. – 5-е изд. М.: Стройиздат, 1987. – 456 с.

33. Лукиных Н.А., Липман Б.Л., Криштул В.П. Методы доочистки сточных вод. М: Стройиздат, 1978. - 160 с.

34. Луценко Г.Н., Цветкова А.И., Свердлов И.Ш. Физико-химическая очистка городских сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984. – 88 с.

35. Матросов А.С. Управление отходами. Учебник для ВУЗов. М.: УИЦ «Гардарики», 1999. – 468 с.

36. Обработка и удаление осадков сточных вод В 2-х т. Пер. с англ. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой, И.Х. Заена – М: Стройиздат, 1985. – 236 с.

37. Орлов В.А. Технология озонирования вод: Учебное пособие МГСУ. М., 1996. – 118 с.

38. Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга под ред. Ф.В. Кармазинова. СПб.: Стройиздат, 1999. – 424 с.

39. Пальгунов П.П., Сумароков МВ. Утилизация промышленных отходов. М.: Стройиздат, 1990. – 348 с.

40. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85. М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.

41. Разумовский Э.С., Медриш Г.Л., Казарян В.А. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.

42. Родзиллер И.Д. Прогноз качества водоемов приемников сточных вод. М.: Стройиздат, 1984. – 261 с.

43. Рубчак И.Ю., Сирота М.Н. Сооружения для обработки осадка городских сточных вод., М.: Стройиздат, 1978.

44. Синельников В.Е. Механизм самоочищения водоемов. М.: Стройиздат, 1980. – 111 с.

45. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.

46. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. – 3-е изд., пере- раб. и доп. – М: Стройиздат, 1988. – 256 с.

47. Федоров Н.Ф., Курганов А.М., Алексеев М.И. Канализационные сети. Примеры расчетов. Учебное пособие для ВУЗов 3-е изд. М.: Стройиздат, 1985. – 223 с.

48. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. Изд. 5-е, перераб. М., Стройиздат, 1977. – 224 с.

49. Яковлев СВ., Волков Л.С, Воронов Ю.В., Волков В.Л. Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод. – М.: Химия, 1999. – 448

50. Яковлев СВ., Воронов Ю.В., Биологические фильтры, 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1987. – 121 с.

51. Яковлев СВ., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Калицун В.И. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для ВУЗов. М., Стройиздат, 1996. – 591 с.

52. Яковлев СВ., Карюхина Т.А. Биологические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1981. – 200 с.

А.А. Ауланбергенов, О.З. Зубаиров, Е.И. Колдеев, С.Б. Айдарова,
А.Т. Тлеукулов, Ф.Р. Жандаулетова, К.Т. Оспанов

УЛУЧШЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Учебник для магистрантов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности
«Водные ресурсы и водопользование»

Редактор
Оператор
Компьютерная верстка
Подписано в печать
Бумага тип. №
Усл. печ. л.

Печать офсетная
Тираж экз.

Формат 60×84 1/16
Уч.-изд. л.
Заказ №

European Commission
TEMPUS

This publication has been funded with support from the European Commission (Tempus IV). This publication reflects the views only of the author, and the European Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Проект финансируется при поддержке Европейской Комиссии. Содержание данной публикации/материала является предметом ответственности автора и не отражает точку зрения Европейской Комиссии.