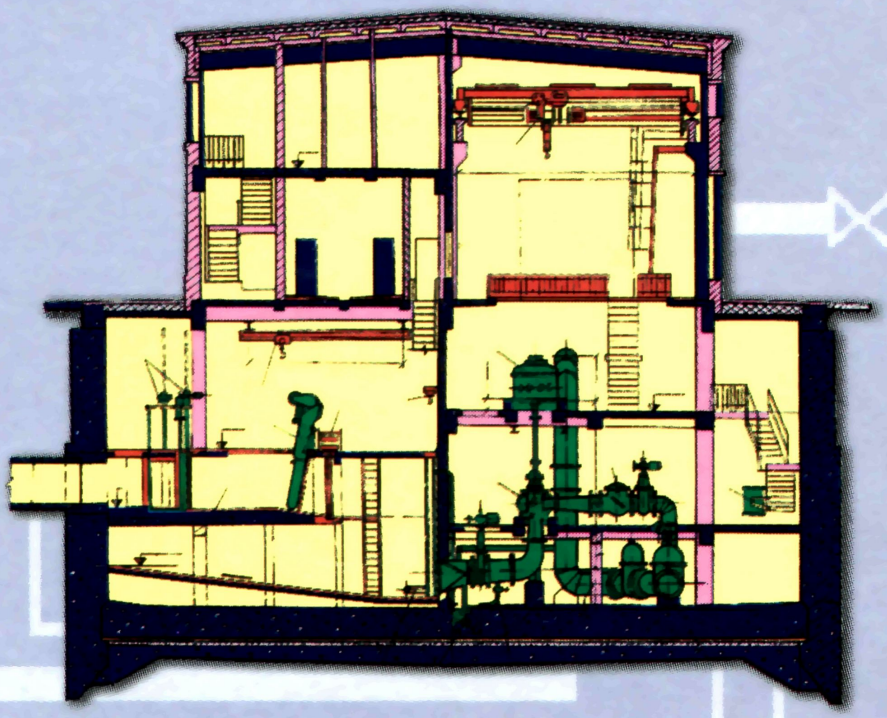
Библиотека СОК

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ВОДООТВЕДЕНИЕ

Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев,
В.П. Саломеев, Е.А. Пугачёв



УЧЕБНИК

Ю.В. ВОРОНОВ,
Е.В. АЛЕКСЕЕВ,
В.П. САЛОМЕЕВ,
Е.А. ПУГАЧЁВ

ВОДООТВЕДЕНИЕ

УЧЕБНИК

Под общей редакцией
профессора, доктора технических наук Ю.В. Воронова

Допущено
Федеральным агентством по строительству
и жилищно-коммунальному хозяйству в качестве учебника
для студентов средних специальных заведений, обучающихся
по специальности 270112 (2912) «Водоснабжение и водоотведение»



Москва
ИНФРА-М
2007

УДК 628(07)
ББК 38.761я7
В75

Рецензенты:
Главный технолог Управления канализации МГУП «Мосводоканал» *Д.А. Данилович*
Директор Государственного образовательного учреждения среднего и профессионального образования, Колледжа архитектуры и строительства № 7 г. Москвы *В.Г. Возиков*

Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Пугачёв Е.А.
В75 Водоотведение: Учебник. — М.: ИНФРА-М, 2007 — 415 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 5-16-002767-X

В учебнике изложены основные сведение о системах водоотведения и технология очистки бытовых и производственных сточных вод и обработки осадков. Рассмотрены вопросы проектирования и расчета водоотводящих сетей и сооружений и обработки осадка. Отражены достижения науки и техники в области отведения и очистки сточных вод.

Для студентов строительных техникумов, колледжей, обучающихся по специальности 270112 (2912) «Водоснабжение и водоотведение».

УДК 628(07)
ББК 38.761я7

ISBN 5-16-002767-X

© Коллектив авторов, 2007

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 отработанных потоков воды по специальным гидротехническим сооружениям.

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

Сточные воды, особенно бытовые, 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 обеспечивают также отведение и очистку дождевых и талых вод. Строительство водоотводящих систем обусловливалось необходимостью обеспечения нормальных жилищно-бытовых условий населения городов и населенных мест и поддержания хорошего состояния окружающей природной среды.

О применении воды для удаления нечистот свидетельствуют археологические раскопки древних поселений Вавилонии, Ассирии, Финикии, Египта, Греции и Рима. Для отведения сточных вод в естественные проточные водоемы или для орошения сельскохозяйственных земель иногда строились крупномасштабные гидротехнические сооружения, выложенные кирпичом с обмазочной гидроизоляцией, обеспечивающие пропуск больших водных потоков. Литературные источники свидетельствуют о существовании каналов для отведения дождевых и бытовых сточных вод в Индии и Китае около 5–6 тыс. лет назад. За несколько тысячеле-

тий до нашей эры в ассирийском Саргонском Дворце был построен канал высотой 1,4 м и шириной 1,2 м. Древние греки в Афинах для отведения сточных вод построили канал шириной до 4,2 м. Поражает высокое качество строительных работ. В Древнем Риме в VI в. до н.э. был построен большой закрытый водоотводящий канал «Клоака Максима». Отдельные части этого канала использовались вплоть до начала 20-го столетия н.э. Нашествие варваров разрушило завоевания древней цивилизации. Распространилось средневековое презрение к заботам о чистоте тела, что подорвало в общественном сознании значение санитарно-технических сооружений. Антисанитарное состояние средневековых городов способствовало распространению эпидемий чумы, проказы, оспы, тифа во всех странах Западной Европы.

Промышленное развитие и рост городов в Европе в XIX в. привели к интенсивному строительству водоотводящих каналов. Сильным импульсом к развитию водоотведения городов стала эпидемия холеры в Англии в 1831 г. В последующие годы в этой стране усилиями парламента были реализованы мероприятия по замене открытых каналов подземными и утверждены нормативы качества сточных вод, сбрасываемых в водоемы, организована биологическая очистка бытовых сточных вод на полях орошения.

Первые водоотводящие сооружения в России были построены в Новгороде в XII в. — бревенчатый канал перекрывался пластинами и берестой. В XIV в. в Москве была проложена водосточная труба от центральной Ивановской площади Кремля до р. Москвы. В XV–XVI вв. в Москве строилась система из деревянных дренажных труб и каналов из кирпича и камня, уложенных с небольшим уклоном.

Вершиной технического прогресса водохозяйственного строительства в Сибири в XVIII в. считается водоснабжение и водоотведение Змеиногорского рудника по добыче золота. Технический прогресс в водоснабжении и водоотведении на Алтае базировался на сложных инженерных разработках наших соотечественников. Алтайский горный округ был в то время одним из главных поставщиков золота в царскую казну, вследствие чего на алтайские рудники и заводы направлялись лучшие специалисты, в их числе «водных дел мастера» с Урала и из Центральной России И.И. Ползунов и К.Д. Фролов.

В XVIII в. в Петербурге были построены кирпичные водостоки по набережной р. Невы на Васильевском острове. Вплоть до конца XIX в. самым распространенным приемником нечистот были

выгребные ямы, это способствовало загрязнению воды питьевых колодцев домовладений. Во избежание засорений водоотводящих трубопроводов применяли грубые фильтры из булыжника.

Развитию московской водоотводящей сети способствовали усилия городского головы Н.А. Алексеева. В 1886 г. для научной общественности городским инженером В.Д. Кастальским был сделан доклад о целесообразности для Москвы раздельной системы водоотведения, а в 1890 г. — разработан проект первой очереди московской канализации, обслуживающей 1,5 млн жителей с удельной нормой водоотведения 85 л/(чел · сут) на расход 84 тыс. $м^3$/сут бытовых и 72 тыс. $м^3$/сут фабричных вод с очисткой в основном бытовых вод в объеме примерно 25%.

В 1898 г. в Москве введена в эксплуатацию первая водоотводящая система, включавшая самотечные и напорные водоотводящие сети, насосную станцию и люблинские поля орошения. Она стала родоначальницей самой крупной в Европе московской системы водоотведения и очистки сточных вод.

К началу XX в. в России было канализовано около 1000 городов. Большинство систем водоотведения обеспечивало отведение сточных вод по подземным самотечным трубопроводам и сброс неочищенных стоков в водоемы.

Установленные норм очистки сточных вод при выпуске их в реку, разработанные в Англии в 1876 г., дали новый импульс в комплексном развитии систем водоотведения с очистными сооружениями. Достижения науки и техники способствовали повышению степени благоустройства городов до уровня современной цивилизации.

Особое значение имеет развитие современной системы водоотведения бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающей высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнений. Наиболее существенные результаты получены при разработке новых технологических решений в вопросах эффективного использования 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.

Учебник написан в соответствии с примерной программой дисциплины «Водоотведение» для специальности 2912 «Водоснабжение и водоотведение».

Отдельные главы учебника написаны:
проф., д-р техн. наук Ю.В. Воронов — общая редакция, введение, главы 8–12; 16–18; 20; проф., канд. техн. наук Е.А. Пугачев — главы 1–7; проф., канд. техн. наук В.П. Саломеев — главы 5, 6, 7, 8–12 (в соавт.); 16–17; 19–20; проф., д-р техн. наук Е.В. Алексеев — главы 13, 15, 18; доц., канд. техн. наук Е.С. Гогина — главы 19–20 (в соавт.); преп. С.Е. Алексеев — глава 14.

Раздел I
СХЕМЫ И СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Глава 1
СХЕМЫ И СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

1.1. СТОЧНЫЕ ВОДЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Сточные воды — это пресные воды, изменившие после использования в бытовой и производственной деятельности человека свои физико-химические свойства и требующие отведения.

По происхождению сточные воды могут быть классифицированы на 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 воды, которые поступают в водоотводящую сеть от санитарных приборов (умывальников, раковин или моек, ванн, унитазов и трапов — напольных приборов с решетками). Особенности образования этих сточных вод хорошо известны.

Производственные сточные воды образуются в процессе производства различных товаров, изделий, продуктов, материалов и пр. К ним относятся отработанные 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 от их транспортировки.

Атмосферные сточные воды образуются в процессе выпадения дождей и таяния снега как на жилой территории населенных пунк-

тов, так и на 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).

Основными характеристиками сточных вод являются: количество сточных вод, характеризуемое расходом, измеряемым в л/с или $м^3/с$, $м^3/ч$, $м^3$/смену, $м^3$/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. 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 — их можно оценить как весьма загрязненные. При хранении они способны загнить через 12–24 ч (при $t = 20$ °С).

Производственные сточные воды различных отраслей промышленности содержат различные загрязнения. Различна и концентрация их загрязнения и режимы водоотведения.

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 территории 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).

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.

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.

Физическая модель сточных вод представляет собой двухфазную систему «жидкое — твердое», и любая технология очистки вод заключается в извлечении твердой фазы. Законы термодинамики указывают на то, что вода легко загрязняется и этот процесс идет без значительных энергозатрат. Напротив, процессы очистки воды реализуются с использованием различных сложных процессов с заметными удельными энергозатратами. Система «жидкое — твердое» характеризуется энтропией, которая выражает скрытую энергию, необходимую для очистки сточных вод. Чем выше концентрация загрязнений и чем больше разнородность состава, тем выше энтропия и больше энергетические затраты на очистку воды.

Отсюда следует правило термодинамики применительно к технологиям водоотведения, очистки сточных вод и обработки осадков, обеспечивающее минимальные энергозатраты на реализацию этих процессов.

Нерационально смешивать потоки сточных вод высокотемпературные и низкотемпературные, содержащие только минеральные или органические загрязнения, имеющие высокие или низкие концентрации твердой фазы, имеющие токсическое или инертное происхождение.

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).

1.2. ОБЩАЯ СХЕМА И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Схемы водоотведения населенных пунктов разрабатываются на генплане городов в масштабе 1 : 5000–1 : 20 000 с горизонталями через 1–2 м с указанием кварталов и проездов, схемы водоотведения промышленных предприятий — на генплане в масштабе 1 : 1000–1 : 5000 с горизонталями через 0,5–1 м. На рис. 1.1 показана общая схема водоотведения города. Система водоотведения состоит из следующих основных элементов:

1) внутренних водоотводящих сетей в зданиях, оснащенных санитарно-техническим оборудованием;
2) внутриквартальных водоотводящих сетей;
3) наружной водоотводящей сети;
4) аварийно-регулирующих резервуаров;
5) специальных сооружений;
6) насосных станций и напорных трубопроводов;
7) станций очистки сточных вод;
8) выпусков аварийных неочищенных потоков сточных вод.

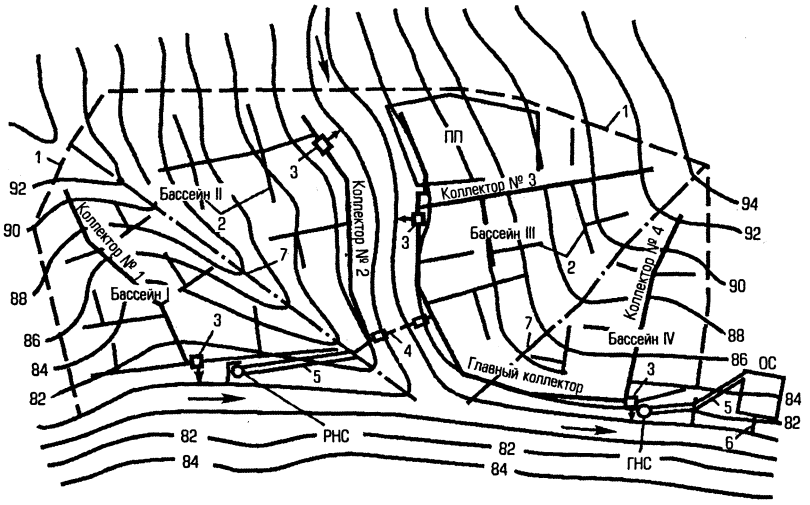


Рис. 1.1. Общая схема водоотведения города:
РНС — районная насосная станция; ГНС — главная насосная станция; ОС — очистные сооружения; ПП — промышленное предприятие; 1 — граница города; 2 — наружная (внешняя) водоотводящая сеть трубопроводов; 3 — ливнеспуски; 4 — дюкер; 5 — напорные трубопроводы; 6 — выпуск очищенных сточных вод; 7 — линии водоразделов

На рис. 1.2 показаны элементы внутренней водоотводящей сети жилого дома. Она состоит из приемников сточных вод (санитарных приборов) внутренней водоотводящей сети, которая включает водоотводящие линии, стояки и выпуски из здания.

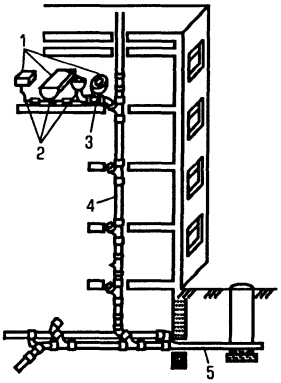


Рис. 1.2. Элементы внутренней водоотводящей сети жилого дома:
1 — санитарные приборы; 2 — сифоны; 3 — отводные линии;
4 — стояк; 5 — выпуск

Трубопроводы отводных линий прокладываются с уклоном к стоякам для обеспечения самотечного отвода воды. Трубопроводы стояков прокладываются вертикально; верхняя их часть возвышается над неэксплуатируемой кровлей на 0,3 м; над скатной кровлей — на 0,5 м; над эксплуатируемой кровлей — на 3 м. Выпуски — это участки трубопроводов от стояков до смотровых колодцев на внутриквартальной водоотводящей сети. Они, как и отводные линии, прокладываются с уклонами.

Внутренняя водоотводящая сеть трубопроводов рассчитывается на частичное заполнение труб водой даже при наибольших (расчетных) расходах сточной воды. Она одновременно служит для вентиляции всей внешней водоотводящей сети. При нормальных условиях работы через стояки осуществляется вытяжка газов. Для исключения попадания газов в помещения под санитарными приборами устанавливаются сифоны (гидравлические затворы). Они обычно представляют собой петлеобразные трубки, в которых постоянно задерживается водяной столб высотой 8–10 см. Иногда сифоны являются составной частью санитарных приборов. Для проверки и прочистки труб на сети устанавливаются специальные детали — ревизии и прочистки. Каждое здание имеет по несколь-

ку стояков, которые обслуживают санитарные приборы, группирующиеся на каждом этаже здания.

Вода во внутреннюю сеть принимается через водосточные воронки, устанавливаемые на крышах. Отвод воды из зданий может производиться либо непосредственно во внутриквартальную водоотводящую сеть, либо на поверхность земли. В последнем случае вода с крыш вместе с дождевой водой с незастроенной части квартала должна стекать в лотки проездов, а затем в специальные дождеприемники, связанные с внутриквартальной водоотводящей сетью. При невысоких зданиях и скатных крышах дождевая вода с крыш отводится водосточными трубами, а затем лотками проездов в дождеприемники. Дворовая и внутриквартальная водоотводящая сеть состоит из подземных трубопроводов (рис. 1.3). Трассировка трубопроводов производится около зданий между смотровыми колодцами по концам выпусков из зданий в направлении, совпадающем с уклоном поверхности земли. Соединение внутриквартальной сети с внешней (уличной) сетью производится участками труб, называемыми соединительными ветками. Внутриквартальная сеть трубопроводов рассчитывается на самотечное (безнапорное) движение жидкости с частичным заполнением труб.

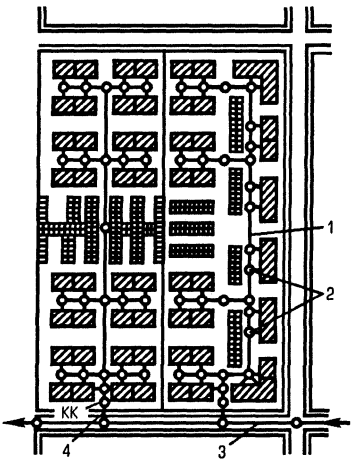


Рис. 1.3. Дворовая и внутриквартальная водоотводящая сеть:
1 — трубопровод внутриквартальной сети; 2 — смотровые колодцы;
3 — уличная сеть; 4 — соединительная ветка; КК — контрольный колодец

На участке от внутриквартальной до уличной сети в пределах квартала на расстоянии 1–1,5 м от красной линии (границы квартала) располагается контрольный колодец (КК), который служит для контроля за работой внутриквартальной сети и правильностью использования сетей водоотведения специальными организациями, эксплуатирующими внешние водоотводящие сети и очистные сооружения.

Аналогичные сети создаются на предприятиях. Они называются внутризаводскими (внутриплощадочными).

Внешняя (наружная) водоотводящая сеть, называемая иногда уличной, представляет собой систему подземных трубопроводов, уложенных с уклоном в направлении движения воды. Она рассчитывается на самотечное (безнапорное) движение жидкости с частичным или полным заполнением труб при расчетных условиях (наибольших расходах). В целях уменьшения глубины заложения трубопроводы должны трассироваться в направлении, совпадающем с уклоном поверхности земли.

При составлении схемы водоотводящей сети обслуживаемый объект разбивается на бассейны водоотведения (см. рис. 1.1). Бассейн водоотведения — часть территории обслуживаемого объекта, ограниченная линиями водоразделов и границами объекта. Внешняя водоотводящая сеть может быть разделена на уличную сеть, коллекторы бассейнов водоотведения и главные коллекторы. Уличная сеть — это трубопроводы, проложенные по части периметра квартала (с нижней стороны по рельефу) или по всему его периметру. К ней присоединяются внутриквартальные сети.

Коллекторы бассейнов водоотведения — трубопроводы, предназначенные для приема и отвода воды от части или целого бассейна водоотведения.

Главные коллекторы — трубопроводы, предназначенные для приема и отвода воды от части или всего обслуживаемого объекта. Главными коллекторами вода транспортируется к насосным станциям или очистным сооружениям.

Для осмотра трубопроводов, выполнения профилактических и ремонтных работ на водоотводящей сети предусматриваются смотровые колодцы и камеры. В местах пересечения самотечных трубопроводов с естественными препятствиями (реками, оврагами) и подземными сооружениями строятся штольни или эстакады (мосты). Иногда пересечения выполняются в виде дюкера. Для приема в водоотводящую сеть дождевых вод строятся дождеприемники, конструкция которых аналогична конструкции смотровых

колодцев, но сверху они завершаются приемной решеткой. По схеме, показанной на рис. 1.1, обслуживаемый объект имеет водоотводящую сеть, предназначенную для отвода сточных вод всех видов — бытовых, производственных и дождевых. В период интенсивных ливней загрязнение смеси транспортируемых сточных вод снижается. Это позволяет сбрасывать часть сточных вод в водоем без очистки. Для сброса воды на коллекторах, уложенных вдоль реки, создаются специальные сооружения — ливнеспуски.

Аварийные и регулирующие резервуары представляют собой специально оборудованные емкости, обеспечивающие аккумуляцию сточных вод в период максимального их притока.

Сброс или откачка воды из резервуаров производится в периоды снижения притока сточных вод самотеком или с использованием насосных станций.

При равнинном рельефе глубина заложения трубопроводов возрастает в зависимости от их длины. При глубине 6–8 м прокладка трубопроводов открытым способом затруднена, поэтому переходят на закрытые методы строительства или осуществляют перекачку сточных вод.

Местные насосные станции используют для подъема и перекачки воды от одного или группы зданий.

Районные насосные станции применяют для перекачки стоков от части или целого бассейна водоотведения.

Главные насосные станции перекачивают стоки на станцию очистки сточных вод части или всего обслуживаемого объекта. Для повышения надежности работы сооружений водоотведения напорные трубопроводы выполняют в две линии.

Очистная станция представляет собой комплекс сооружений для очистки сточных вод и обработки осадков. Удаление загрязнений из сточных вод достигается с помощью механических (на решетках, песколовках, первичных отстойниках), биохимических (на аэротенках или биофильтрах и вторичных отстойниках) и физико-химических процессов очистки воды. Заключительным этапом обработки сточных вод перед сбросом в открытый водоем обычно является обеззараживание. При проектировании сооружений станции очистки сточных вод предусматривается самотечное движение воды.

Сооружения водоотведения, располагаемые за пределами промышленного предприятия, называются внеплощадочными. Все элементы водоотведения взаимосвязаны в работе. Поэтому проектирование и развитие сооружений реализуются с учетом необ-

ходимой степени надежности, что требует разработки специальных мероприятий в технологии водоотведения, очистки сточных вод и обработки осадков.

1.3. СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ГОРОДОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Схемой водоотводящей сети называют проектное решение принятой системы водоотведения, изображенной на генплане канализуемого объекта с учетом местных топографических и гидрогеологических условий и перспектив дальнейшего развития. Начертание схемы водоотведения на генплане в основном зависит от рельефа местности, так как наиболее технологично транспортирование сточных вод осуществлять по трубопроводам в самотечном режиме, при котором энергозатраты минимальны. Главные водоотводящие коллекторы направляются за пределы города ниже по течению проточного водоема на расстояние, предусмотренное правилами санитарной зоны разрыва. В зависимости от основных факторов схемы водоотводящих сетей могут подразделяться на несколько видов.

Перпендикулярная схема (децентрализованная) (рис. 1.4, *а*) — коллекторы бассейнов водоотведения прокладываются перпендикулярно направлению потока воды водоема, перпендикулярно горизонталям. По такой схеме выполняют водосточную сеть при полной раздельной системе водоотведения. При этом дождевые воды децентрализованно сбрасываются в водоем без очистки или с очисткой.

Пересеченная схема (централизованная) (рис. 1.4, *б*) — коллекторы бассейнов водоотведения пересекаются главным коллектором, направляемым параллельно реке. Эта схема применяется для отведения сточных вод, требующих обязательной очистки. Они используются при полной раздельной системе водоотведения для городских сточных вод.

Параллельная схема (веерная централизованная) (рис. 1.4, *в*) — коллекторы бассейнов водоотведения направляются параллельно или под небольшим углом к направлению потока воды в водоеме и пересекаются с главным коллектором, транспортирующим сточные воды к очистным сооружениям.

Эту схему применяют при резком падении рельефа местности к водоему. Она позволяет исключить в коллекторах бассейнов

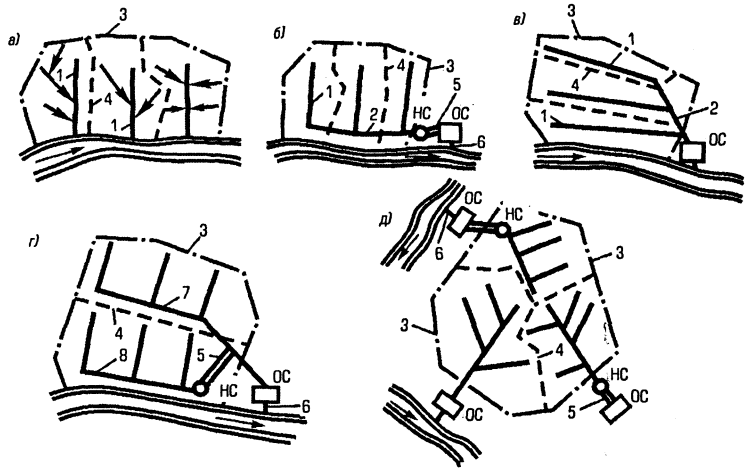


Рис. 1.4. Схемы водоотводящих сетей:
а — перпендикулярная; *б* — пересеченная; *в* — параллельная; *г* — зонная; *д* — радиальная; 1 — коллекторы бассейнов водоотведения; 2 — главные коллекторы; 3 — граница обслуживаемого объекта; 4 — граница бассейнов водоотведения; 5 — напорный трубопровод; 6 — выпуск; 7 и 8 — главные коллекторы соответственно верхней и нижней зон

водоотведения повышенные скорости движения воды, вызывающие абразивный износ трубопроводов.

Зонная схема (централизованная) (*рис.* 1.4, *г*) — обслуживаемая территория разбивается на две зоны: с верхней сточные воды отводятся к очистным сооружениям самотеком, а с нижней они перекачиваются насосной станцией. Эта схема наименее энергоемка, и поэтому при разработке схемы водоотведения города необходима проработка таких вариантов.

Радиальная (децентрализованная) схема (рис. 1.4, *д*) — отведение сточных вод реализуется на несколько очистных станций. Радиальную схему водоотведения применяют при сложном рельефе местности и в больших городах.

Трассировка уличных трубопроводов возможна по трем следующим схемам.

Объемлющая трассировка (рис. 1.5, *а*) — уличные трубопроводы прокладывают со всех сторон квартала. Эту трассировку применяют при слабовыраженном уклоне местности ($i \leq 0{,}005$) для больших кварталов и при отсутствии внутри них застройки.

Трассировка по пониженной стороне квартала (рис. 1.5, *б*) — уличные трубопроводы прокладывают лишь с пониженных сторон

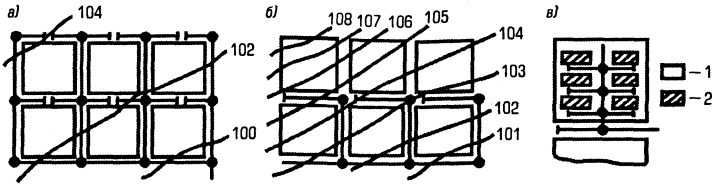


Рис. 1.5. Трассировка уличной сети:
а — объемлющая; *б* — по пониженной стороне квартала;
в — черезквартальная; 1 — кварталы; 2 — дома

квартала. Эту трассировку применяют при выраженном рельефе местности ($i \geq 0{,}007$) и небольших кварталах.

Черезквартальная трассировка (рис. 1.5, *в*) — трубопроводы прокладывают внутри квартала, что при детальной планировке жилых кварталов сокращает общую протяженность сети. Существенные преимущества этой трассировки в том, что трубопроводы пересекают проезды на отдельных коротких участках, не загромождая подземную часть, насыщенную другими инженерными коммуникациями.

Для обоснования оптимальной схемы водоотведения обычно рассматривают несколько равноценных в технологическом и санитарном отношении вариантов. При разработке рабочих чертежей составляют планы водоотводящей сети в масштабе 1 : 500 или близком к этому. Все сооружения водоотводящей сети (колодцы, камеры) привязывают к углам зданий и реперам засечками.

Пример такого плана показан на рис. 1.6. Трубопроводы располагают по оси, около одной или по обе стороны проездов в зависимости от ширины проезжей части, числа присоединений внутриквартальных сетей и насыщенности подземной части другими коммуникациями. Расположение трубопроводов в пределах проездов увязывается с другими подземными сооружениями и коммуникациями по определенным нормативам и правилам, разрабатываемым и контролируемым специальной службой отдела подземных сооружений.

Сточные воды промышленных предприятий подразделяются на три основных вида: производственные, бытовые и атмосферные. Объем, режим поступления в водоотводящую сеть и состав сточных вод находятся в прямой зависимости от характера исходного сырья и принятого технологического процесса, качества и объема воды, потребляемой данным предприятием.

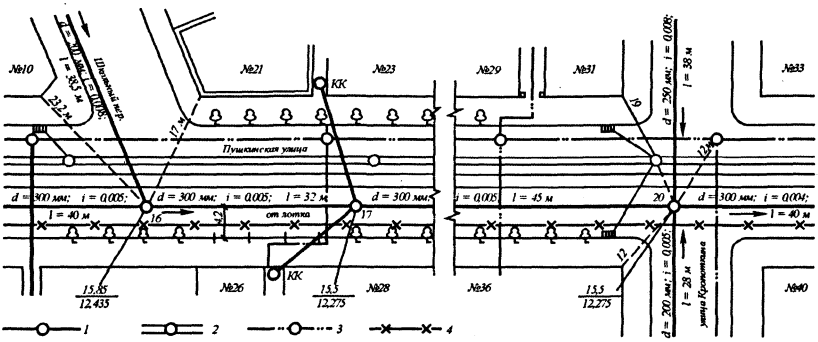


Рис. 1.6. План водоотводящей сети проезда:
1 — проектируемый самотечный трубопровод; 2 — водосток; 3 — водопровод; 4 — газопровод; КК — контрольный колодец

При отведении сточных вод промышленных предприятий учитывается ряд факторов.

Водоотведение трех основных видов сточных вод (бытовые воды промышленных предприятий, производственные сточные воды, дождевые воды с промышленной площадки) может осуществляться по одному коллектору. Очищенная до значений ПДТК (предельно допустимые технологические концентрации) производственная сточная вода выпускается в городскую водоотводящую сеть с последующей очисткой на городских очистных сооружениях. В этом случае при отсутствии резко выраженных видов загрязнителей принимается общесплавная система водоотведения (рис. 1.7).

Объединение загрязненных вод возможно, если не образуются газообразные и взрывоопасные вещества, а осадки не обладают более токсичными свойствами.

Потоки производственных сточных вод и методы их очистки определяют количество локальных очистных сооружения для раздельной (рис. 1.8) или совместной очистки всех загрязненных сточных вод промышленного предприятия за пределами промышленной площадки (рис. 1.9).

Вопрос о необходимости разделения или объединения отдельных потоков в один является одним из наиболее актуальных. От правильного инженерного решения зависят: число локальных очистных сооружений, их производительность, количество водоотводящих сетей. Таким образом, основным направлением в решении этой проблемы является выбранный метод производства продукции. При таком методе сырье и энергия используются настолько

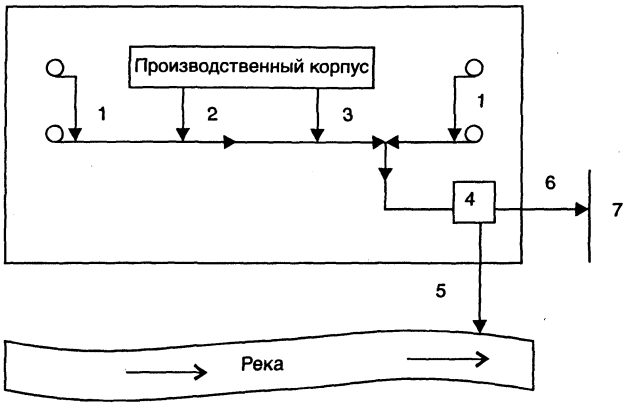


Рис. 1.7. Схема общесплавной системы водоотведения промышленного предприятия:
1 — дождевые воды; 2 — хозяйственно-бытовые сточные воды;
3 — производственные сточные воды; 4 — локальные очистные сооружения;
5 — выпуск в водоем; 6 — сброс в городскую водоотводящую сеть;
7 — городская водоотводящая сеть

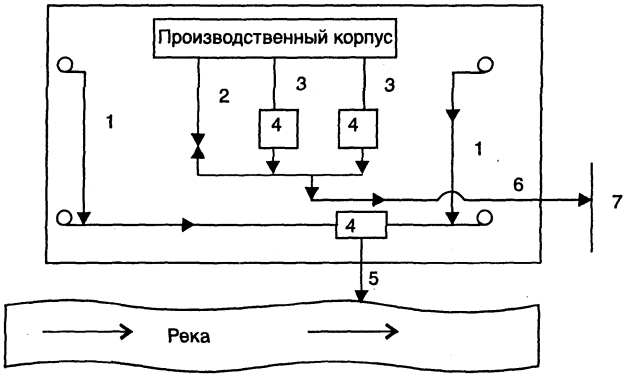


Рис. 1.8. Схема водоотведения промышленного предприятия с раздельной дождевой и производственно-бытовой сетями:
1 — дождевые воды; 2 — хозяйственно-бытовые сточные воды;
3 — производственные сточные воды; 4 — локальные очистные сооружения;
5 — выпуск в водоем незагрязненных вод; 6 — сброс в городскую водоотводящую сеть; 7 — городская водоотводящая сеть

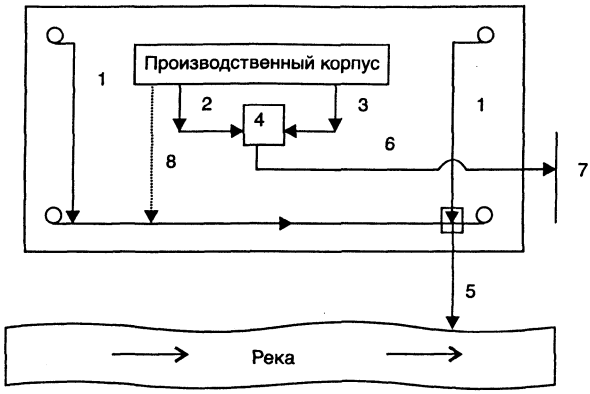


Рис. 1.9. Схема водоотведения промышленного предприятия с локальными очистными сооружениями и сбросом незагрязненных производственных и атмосферных сточных вод в водоем:
1 — дождевые воды; 2 — хозяйственно-бытовые сточные воды; 3 — производственные сточные воды; 4 — локальные очистные сооружения; 5 — выпуск в водоем незагрязненных вод; 6 — сброс в городскую водоотводящую сеть; 7 — городская водоотводящая сеть; 8 — незагрязненные производственные сточные воды

рационально, что объем выбрасываемых в окружающую природную среду загрязняющих веществ и отходов сведен к минимуму. Поэтому вводятся понятия «безотходная технология», «замкнутые и оборотные циклы» водообеспечения промышленного предприятия.

1.4. СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ ГОРОДОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Система водоотведения — это технологический прием объединения или разъединения потоков сточных вод различного происхождения. В мировом историческом опыте строительства водоотводящих систем просматриваются различные тенденции их развития. В практике были распространены общесплавные и комбинированные системы. Раздельные системы подразделяются на полные раздельные, неполные раздельные и полураздельные.

Общесплавная система водоотведения имеет единую водоотводящую сеть для отведения сточных вод всех видов: бытовых, производственных и дождевых (рис. 1.10). Общесплавные системы применяли при наличии рядом с обслуживаемым объектом мощ-

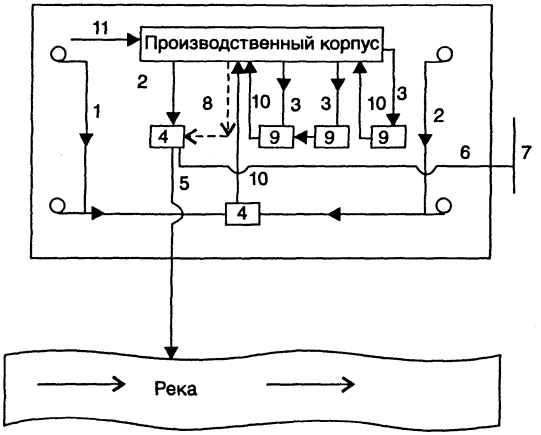


Рис. 1.10. Схема водоотведения промышленного предприятия с локальными очистными сооружениями и оборотом производственных вод:
1 — дождевые воды; 2 — хозяйственно-бытовые сточные воды; 3 — производственные сточные воды; 4 — локальные очистные сооружения; 5 — выпуск в водоем; 6 — выпуск хозяйственно-бытовых сточных вод в городскую водоотводящую сеть; 7 — городская водоотводящая сеть; 8 — незагрязненные сточные воды; 9 — локальные очистные сооружения производственных цехов; 10 — сеть оборотного водоснабжения; 11 — подача подпиточной воды

ных проточных водоемов, обладающих значительной самоочищающей способностью. Особенностью этой системы является оснащение главного коллектора ливнеспуском для сброса смеси сточных вод в водоем без очистки. Общесплавная система водоотведения обеспечивает удовлетворительное санитарное состояние селитебной и промышленной зон обслуживаемых объектов. Однако при устройстве такой системы отмечаются отсутствие биологического равновесия в водоеме, являющемся приемником смеси сточных вод, значительные колебания состава и концентрации загрязнений, что влияет на качество очищенного стока. Практический опыт показывает, что, несмотря на сокращение протяженности водоотводящих сетей, капитальные затраты могут быть значительными и неприемлемыми. Значительно усложняется эксплуатация насосных и очистных сооружений вследствие неравномерного притока дождевых вод.

Полная раздельная система водоотведения имеет несколько водоотводящих сетей, каждая из которых предназначена для отведения сточных вод определенного вида (рис. 1.11, *а*) и является наиболее эффективной по экологическим и энергетическим соображениям.

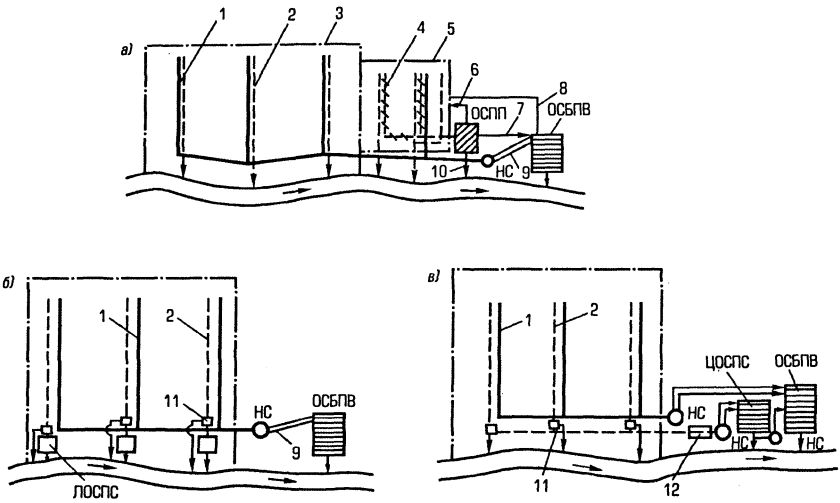


Рис. 1.11. Полные раздельные системы водоотведения:
а — без очистки поверхностного стока; *б* и *в* — с очисткой поверхностного стока соответственно на локальных и централизованных очистных сооружениях; ОСБПВ — очистные сооружения бытовых и производственных вод; ОСПП — очистные сооружения промышленного предприятия; ЛОСПС — локальные очистные сооружения поверхностного стока; ЦОСПС — централизованные очистные сооружения поверхностного стока; НС — насосная станция; 1 — бытовая сеть; 2 — ливневая сеть; 3 — граница города; 4 — производственная сеть; 5 — граница промышленного предприятия; 6 — возврат воды на производство после очистки; 7 — подача воды для доочистки на очистные сооружения города; 8 — подача очищенных вод на промышленное предприятие; 9 — напорные трубопроводы; 10 — выпуск очищенных производственных сточных вод в водоем; 11 — разделительные камеры; 12 — регулирующий резервуар

Она имеет сети для отвода бытовых вод от города и промышленных предприятий (бытовая сеть), производственных вод (производственная сеть) и дождевых вод (водостоки или дождевая сеть).

Наиболее сложными являются водоотведение и очистка сточных вод промышленных предприятий, так как состав и свойства сточных вод зависят от специфики водных технологических производственных процессов.

Для таких специфических потоков сточных вод выполняют отдельные водоотводящие сети, и для них предусматривают специальные очистные сооружения. Например, для кожзаводов и меховых производств устраивают десятки отдельных водоотводящих сетей и специальных очистных установок.

Специфические производственные стоки неорганогенного происхождения требуют специфической технологии водоотведения, определенной степени очистки и повторно-оборотного использования или полной глубокой очистки с последующим сбросом в водоем.

Несмотря на необходимость решения новых сложных технологических задач по повторно-оборотному использованию очищенных производственных сточных вод, такое направление оправдано высоким экологическим эффектом и в ряде случаев простотой технологии обработки воды и сокращением энергозатрат.

При полной раздельной системе водоотведения очистка поверхностного стока может быть реализована дифференцированно с созданием локальных очистных сооружений на дождевой сети (рис. 1.11, *б*) или созданием централизованных очистных сооружений за пределами обслуживаемого объекта (рис. 1.11, *в*).

Разделение и отведение на очистные сооружения наиболее загрязненных 70% годового стока обеспечиваются разделительными камерами.

Неполная раздельная система водоотведения имеет одну водоотводящую сеть, состоящую из подземных трубопроводов и каналов, предназначенную для отведения смеси бытовых и производственных сточных вод на городские очистные сооружения. По этой производственно-бытовой сети отводится смесь, называемая городскими сточными водами. Отведение и сброс дождевых вод без очистки в водоем производятся по открытым лоткам, кюветам и канавам. Обычно эта система применяется для небольших объектов и при дальнейшем улучшении благоустройства населенных мест развивается в полную раздельную систему водоотведения.

Полураздельная система водоотведения имеет две водоотводящие сети — производственно-бытовую и ливневую (рис. 1.12), в местах пересечения этих сетей устраиваются разделительные камеры. При малых расходах воды в дождевой сети камеры перепускают весь расход дождевых вод в главный общесплавной коллектор производственно-бытовой сети. При больших расходах камеры перепускают в производственно-бытовую сеть наиболее загрязненную часть воды, протекающей по трубам в донной части. Таким образом, на очистку направляются наиболее загрязненные дождевые воды, образующиеся в начальный период дождя, и донные слои воды, имеющие наиболее высокие концентрации загрязнений. При больших расходах воды в дождевой сети менее загрязненные дождевые воды отводятся в водоем без очистки.

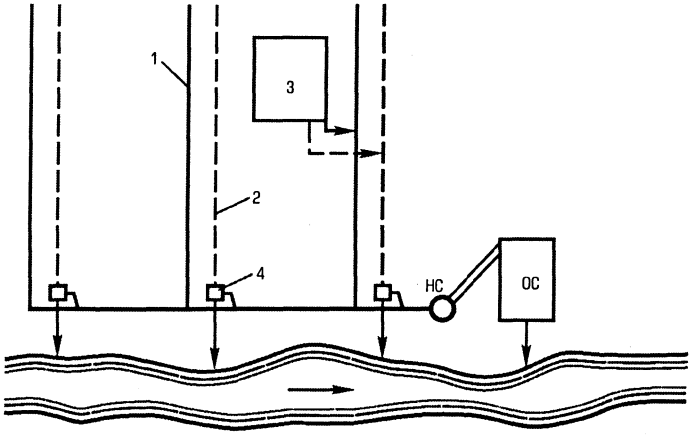


Рис. 1.12. Полураздельная система водоотведения:
1 — производственно-бытовая сеть; 2 — ливневая сеть; 3 — промышленное предприятие; 4 — разделительные камеры; НС — насосная станция; ОС — очистные сооружения

Комбинированная система водоотведения обычно возникает исторически в результате разной технической политики, реализуемой на различных этапах развития степени благоустройства города. При этом часть обслуживаемого объекта имеет общесплавную систему, а часть — полную раздельную. В силу происхождения комбинированные системы водоотведения занимают по санитарно-технической эффективности промежуточное положение.

Системы водоотведения промышленных предприятий также подразделяются на *общесплавные* и *раздельные*. Выбор системы водоотведения для предприятий должен реализовываться с учетом правил термодинамики.

При выборе системы водоотведения необходимо учитывать следующие возможности:

- совместной и раздельной очистки отдельных видов (от отдельных цехов) сточных вод;
- извлечения и использования ценных веществ, содержащихся в сточных водах;
- повторного использования производственных сточных вод без очистки или после частичной очистки в системе оборотного водоснабжения или для технических нужд другого цеха или производства;

- применения для производственных целей очищенных бытовых и дождевых вод;
- использования производственных вод для орошения сельскохозяйственных и технических культур.

Выбор наиболее эффективной системы водоотведения зависит от технологических показателей, предъявляемых в конкретной ситуации.

Обоснование применения определенной системы водоотведения должно быть комплексным, так как она характеризуется определенными показателями.

Экономическому обоснованию должен предшествовать технологический анализ выбора оптимального варианта или при наличии многих вариантов — двух-трех, удовлетворяющих основным требованиям.

К недостаткам общесплавной системы следует отнести сложнейшие проблемы утилизации осадков, так как их образование связано с присутствием в смеси сточных вод загрязнений различного происхождения, например затрудняющих использование осадка в качестве удобрения.

Нетехнологичность общесплавной системы водоотведения еще и в том, что на каждом объекте смесь сточных вод будет разной по составу и свойствам, поэтому эффект действия очистных сооружений будет различным.

Технологически также невозможно обосновать предусмотренный общесплавной системой сброс в водоем во время сильных ливней разбавленных дождевой водой неочищенных бытовых и производственных стоков.

Частота работы ливнеспусков может изменяться от 1 до 80 раз в году в зависимости от принятых условий работы системы водоотведения, что создает в водоеме нестабильные условия.

Следует отдавать предпочтение системам с минимальной энергоемкостью на единицу отводимых и очищенных до требуемого качества стоков.

Процесс утилизации промышленных отходов и ценного сырья в значительной степени облегчается при действии отдельных водооборотных замкнутых циклов. Поэтому при разработке водных технологий производств следует дифференцировать сточные воды и лишь в отдельных случаях допускать объединение различных потоков.

При дифференцировании водной технологии производств уменьшаются суммарные энергозатраты на очистку воды физико-хими-

ческими способами и значительно облегчаются утилизация отходов и повторно-оборотное использование воды и ценного сырья.

Рассмотренные выше водные факторы следует учитывать при обосновании и разработке любых систем водоотведения.

1.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СНЕГА, ЖИДКИХ И ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ОТБРОСОВ

В последние годы особую актуальность приобрела проблема уборки и удаления снега с городских улиц и проездов. Из-за значительной загрязненности снега, выпадающего на городских территориях, сброс его в городские водоемы запрещен по экологическим требованиям (табл. 1.1). Вывоз снега за пределы города на специально подготовленные полигоны экологически неприемлем.

Таблица 1.1

Сравнительные показатели загрязнения убираемого снега, мг/л

Загрязнение	ПДК (СанНПиН) для воды рыбохозяйственных водоемов	ПДК (СанПиН) культурно-бытовых водоемов	Снег с улиц		Норматив приема в канализацию
			Среднее значение	Максимальное значение — 90% обесп.	
Взвешенные вещества	7,25	10	974,3	3500,0	500,0
Нефтепродукты	0,05	0,3	23,8	64,0	4,0
Хлориды	300	350	1386,8	5500,0	350,0
Сульфаты	100	500	111,3	180,0	500,0
Азот аммонийный	0,4	2	1,6	3,5	

Снижение характерного загрязнения поверхностных вод нефтепродуктами до уровня требований санитарных норм по воде предусматривает уменьшение уровня концентрации нефтепродуктов в стекающей с территории города воде примерно втрое (до 0,3 мг/л). В этой связи экономически наиболее приемлемым вариантом решения проблемы является использование транспортирующей способности самотечных коллекторов, которое возможно по следующим направлениям: зимнее депонирование снега на «сухих» снегосвалках; сброс снега в снегосплавные камеры с последующим отводом талой воды в водоотводящую канализационную сеть. Размещение «сухих» снегосплавок возможно лишь на свободных или резервных городских территориях.

Для размещения снегосплавных камер на канализационных сетях требуется значительно меньшая свободная городская территория; одно из возможных конструктивных решений таких камер приведено на рис. 1.13.

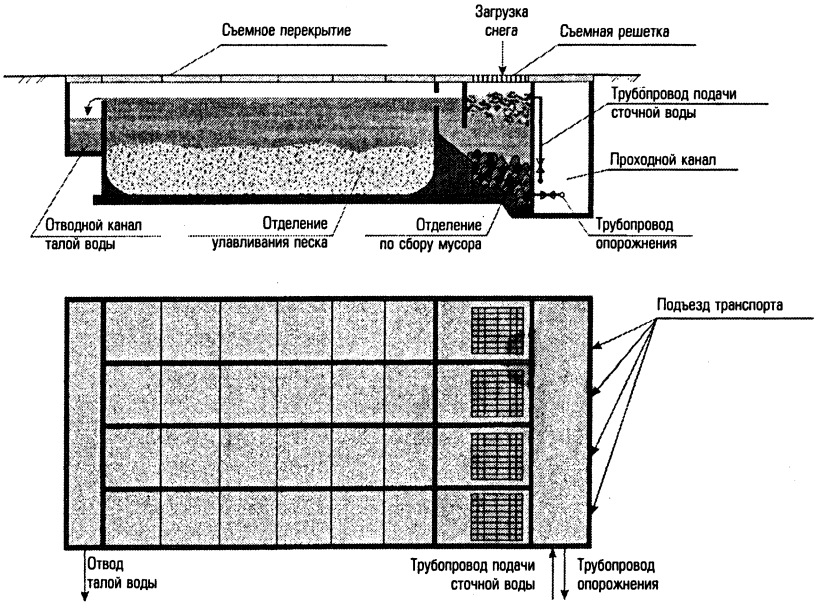


Рис. 1.13. Снегосплавная камера с улавливанием песка и крупных включений

Разработанная конструкция снегосплавной камеры предусматривает растапливание сточной водой сбрасываемого снега в течение всего зимнего периода уборки и вывоза снега. Выделяющиеся из снега мусор и песок предусматривается улавливать в специальных отделениях. Отвод талой воды осуществляется через городскую канализационную сеть на очистные сооружения.

Водоотводящие сети допускается использовать для сплава жидких и измельченных отбросов от малых объектов. Эти отбросы транспортируются ассенизаторным транспортом на сливные станции, где они разбавляются водой в 2–3 раза и пропускаются через решетки и песколовки, после чего отводятся в водоотводящую сеть. Твердые отходы преимущественно прессуются и сортируются на мусороперерабатывающих заводах.

Глава 2
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

2.1. САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

Схемы водоотводящих сетей промышленных предприятий. Особенность схем водоотведения промышленных предприятий заключается в том, что там выполняется несколько технологических водоотводящих сетей, имеющих свои регулирующие резервуары, насосные установки и очистные сооружения. Составление схем сетей и расположение других сооружений производятся с учетом размещения производственных цехов и выпусков из них воды. Расположение подземных и наземных сооружений выполнено как единое подземное комплексное хозяйство с учетом общего планировочного решения промышленной площади и взаимной компактной и легкодоступной прокладки сетей. Насосные установки для перекачки производственных сточных вод, выделяющих вредные газы и пары, располагаются в отдельных зданиях с обеспечением постоянной их вентиляции. Для инертных производственных и бытовых сточных вод допускается совмещенная насосная станция, а приемный резервуар выполняют с числом отделений, соответствующих числу несмешиваемых потоков. Бытовые сточные воды промышленного предприятия по отдельным сетям самотеком или с помощью насосов отводят в городскую водоотводящую сеть.

2.2. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

Расчет водоотводящих сетей состоит в определении диаметров и уклонов трубопроводов, обеспечивающих при наиболее благоприятных гидравлических условиях пропуск расходов сточных вод в любой момент времени. Поскольку самотечное движение сточных вод в энергетическом отношении является наивыгоднейшим,

то основная задача при проектировании заключается в построении продольного профиля коллекторов, определяющего объемы земляных работ и положения водоотводящих трубопроводов в подземной части относительно других инженерных коммуникаций. Основой для определения диаметров трубопроводов является расчетный расход, зависящий от удельной нормы водоотведения бытовых вод от города, — среднесуточный (за год) расход воды, л/сут, отводимой от одного человека.

Удельная норма водоотведения зависит от уровня санитарно-технического оборудования зданий и в определенной степени от климатических условий.

В табл. 2.1 показано влияние степени благоустройства зданий на величину удельного водоотведения.

Таблица 2.1

Удельное водоотведение бытовых сточных вод от города

Степень благоустройства жилых зданий	*Удельное водоотведение, л/(чел·сут)*
Жилые здания с внутренним водоснабжением и водоотведением:	
без ванн	125–160
с ваннами и местными водонагревателями	160–230
с централизованным горячим водоснабжением	230–350

В отдельных микрорайонах в зданиях с повышенным комфортом удельные нормы могут достигать 500–1000 л/(чел · сут). Российский опыт показывает, что обычно удельное водоотведение равно удельному водопотреблению. Действие рыночных отношений в коммунальном хозяйстве будет влиять на удельное водоотведение, поэтому его следует постоянно изучать и уточнять.

Удельное водоотведение бытовых вод промышленных предприятий приведено в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Удельное водоотведение бытовых вод от промышленных предприятий

Цехи	*Удельное водоотведение, л/(чел·сут)*	*Коэффициент часовой неравномерности* $K^{пр}_{быт}$
Горячие (с тепловыделением более 80 кДж/(ч·м^3)	45	2,5
Холодные	25	3

Расходы воды от душей и ножных ванн определяются по часовым расходам воды, равным: на одну душевую сетку — 500 л/ч; на

одну ножную ванну со смесителем — 250 л/ч. Продолжительность водной процедуры равна для душа 8 мин, для ванны — 16 мин. Продолжительность пользования душем и ванной — 45 мин с равномерным водопотреблением и водоотведением. Удельное водоотведение производственных сточных вод — это количество воды, $м^3$, отводимое на единицу выпускаемой продукции. Величина удельного водоотведения зависит от вида производства и степени совершенства водной технологии. Самые совершенные — непрерывные производственные процессы с повторно-оборотным использованием воды имеют самые низкие значения удельного водоотведения. В период дождей и снеготаяния наблюдается значительное поступление в водоотводящую сеть дождевых и талых вод. В связи с этим возникло требование о проведении проверочных расчетов водоотводящих сетей на пропуск максимального расхода с учетом дополнительного притока дождевых и талых вод. Дополнительный расход $q_д$, л/с, следует определять на основании данных эксплуатации, а при их отсутствии — по формуле

$$q_д = 0{,}15L\sqrt{m_d}, \qquad (2.1)$$

где L — общая длина водоотводящей сети, км; m_d — максимальное суточное количество осадков, мм, определяемое по СНиП 2.01.01-82.

Надежный прием и отведение сточных вод в указанный выше период могут быть обеспечены снижением расчетного наполнения коллекторов, не превышающим $h/d = 0{,}7$, что, естественно, удорожает строительство водоотводящих сетей. Опыт эксплуатации водоотводящих сетей Москвы выявил другой, более эффективный способ повышенного водоотведения в паводковые периоды и дни интенсивных дождей.

Новая технология зарегулирования притока сточных вод реализуется с использованием аварийно-регулирующих резервуаров, позволяющих значительно снизить пиковую гидравлическую нагрузку на основные сооружения водоотведения, снизить величину коэффициента неравномерности поступления стоков на насосные станции и очистные сооружения, что существенно повышает стабильность их работы.

Коэффициенты неравномерности. Приток сточных вод колеблется по суткам в пределах года и по часам суток.

Коэффициент суточной неравномерности поступления сточных вод

$$K_1 = Q_1/Q_2, \qquad (2.2)$$

где Q_1, Q_2 — максимальный и средний суточные расходы за год.

Коэффициент суточной неравномерности используют при анализе колебаний бытовых сточных вод от города. В зависимости от местных условий он равен 1,1–1,3.

Коэффициент часовой неравномерности

$$K_2 = q_1/q_2, \tag{2.3}$$

где q_1, q_2 — максимальный и средний часовые расходы в сутки с максимальным водоотведением.

Общий максимальный коэффициент неравномерности

$$K = K_1 \cdot K_2. \tag{2.4}$$

С учетом зависимостей (2.2) и (2.3) общий максимальный коэффициент имеет вид

$$K = (24q_1/24q)(q_1/q_2),$$

или

$$K = q_1/q, \tag{2.5}$$

где q — среднечасовой расход в сутки со средним поступлением сточных вод.

Общий коэффициент неравномерности есть отношение максимального часового расхода в сутки с максимальным поступлением сточных вод к среднечасовому расходу в сутки со средним водоотведением.

Многочисленными исследованиями установлено, что общий коэффициент неравномерности зависит от величины среднего расхода сточных вод.

Для надежности действия некоторых сооружений водоотведения необходимо знать минимальные расходы, т.е. значения общего минимального коэффициента неравномерности

$$K_m = q_m/q, \tag{2.6}$$

где q_m — минимальный часовой расход в сутки с минимальным водоотведением.

В табл. 2.3 показаны значения коэффициентов неравномерности от среднесекундного расхода, с помощью которых вычисляют значения расчетных максимальных и минимальных расходов сточных вод.

Приток бытовых вод от промышленных предприятий характеризуется максимальным коэффициентом часовой неравномерности $K^{\text{пр}}_{\text{быт}}$.

Таблица 2.3

Общие коэффициенты неравномерности притока бытовых сточных вод от города

Средний расход сточных вод, л/с	*Общий коэффициент неравномерности*	
	K	K_m
5	2,5	0,38
10	2,1	0,45
20	1,9	0,5
50	1,7	0,55
100	1,6	0,59
300	1,55	0,62
500	1,5	0,66
1000	1,47	0,69
5000 и более	1,44	0,71

Примечания:

1. Общие коэффициенты неравномерности притока сточных вод допускается принимать при количестве производственных сточных вод, не превышающих 45% общего расхода.
2. При промежуточном значении среднего расхода сточных вод общие коэффициенты неравномерности следует определять интерполяцией.
3. Для начальных участков сети, где средний расход менее 5 л/с, действует правило для безрасчетных участков, на которых принимают минимально допустимые диаметры и уклоны труб (см. табл. 2.2).
4. При более значительном количестве производственных сточных вод, чем указано в примечании 1, расчетные расходы устанавливают по графикам и таблицам суммарного притока сточных вод от города и промышленного предприятия по часам суток.

$$K_{\text{быт}}^{\text{пр}} = q_{\max}/q_{\text{mid}}, \qquad (2.7)$$

где $q_{\max}$ и q_{mid} — максимальный и средний расходы в час за смену. Многочисленными наблюдениями установлено, что коэффициент часовой неравномерности притока бытовых сточных вод практически одинаков для различных отраслей промышленности.

Рекомендуемые значения $K_{\text{быт}}^{\text{пр}}$ приведены в табл. 2.4, где показан режим отведения бытовых вод от промышленного предприятия по часам смены.

Таблица 2.4

Режим отведения бытовых вод промышленного предприятия

Часы смены	*Холодный цех, 25 л/(см·чел)*		*Горячий цех, 45 л/(см·чел)*	
	Значение $K^{пр}_{быт}$ *при* $K_{дел.max} = 3$	*Расходы, %*	*Значение* $K^{пр}_{быт}$ *при* $K_{дел.max} = 2{,}5$	*Расходы, %*
0–1	1	12,5	1	12,5
1–2	0,625	6,2	0,6	7,5
2–3	0,625	6,2	0,6	7,5
3–4	0,625	6,2	0,6	7.5
4–5	1,5	18,75	1,5	18,75
5–6	0,625	6,2	0,6	7,5
6–7	0,625	6,2	0,6	7,5
7–8	3	37,5	2,5	31,25
Всего за смену	–	100	–	100

2.3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Под расчетным расходом подразумевается расход, являющийся лимитирующим при расчете сооружений водоотведения.

Для расчета водоотводящих сооружений используются средние и максимальные суточный, часовой и секундный расходы.

Расчетные расходы бытовых вод от города определяют по следующим формулам:

средний суточный:

$$Q_2 = q_б \cdot N/1000, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (2.8)$$

максимальный суточный:

$$Q_1 = (q_в \cdot N/1000) \cdot K_1, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (2.9)$$

средний часовой:

$$q = q_в \cdot N/(1000 \cdot 24), \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (2.10)$$

максимальный часовой:

$$q_1 = q \cdot K, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (2.11)$$

средний секундный:

$$q_{mid.s} = q_б \cdot N/(24 \cdot 3600), \text{ л/с}; \quad (2.12)$$

максимальный секундный:

$$q_{max.s} = q_{mid.s} \cdot K, \text{ л/с}, \quad (2.13)$$

где $q_б$ — удельное водоотведение бытовых вод, л/(чел · сут); N — расчетное население к концу расчетного периода действия водоотводящей сети — 25 лет.

Максимальный секундный расход удобно определять по формуле

$$q_{max.s} = q_0 FK, \tag{2.14}$$

где F — селитебная площадь кварталов, га; q_0 — модуль стока, л/(с · га) — обобщенный показатель расхода с единицы площади жилых кварталов, определяемый по формуле

$$q_0 = q_в \cdot P/24 \cdot 3600, \tag{2.15}$$

где P — плотность населения, чел/га.

Нормами водоотведения бытовых вод от города не учитываются расходы воды, поступающие от домов отдыха, санаториев, профилакториев и др. Эти расходы воды определяются и учитываются отдельно.

Расчетные расходы бытовых вод от промышленных предприятий определяются по формулам:

$$Q_{mid} = (25N_1 + 45N_2)/1000, \text{ м}^3/\text{сут}; \tag{2.16}$$

$$Q_{max.см} = (25N_3 + 45N_4)/1000, \text{ м}^3/\text{сут}; \tag{2.17}$$

$$q_{max.s} = (25N_3 \cdot K_{б.х} + 45N_4 \cdot K_{б.г})/t \cdot 3600, \text{ л/с}, \tag{2.18}$$

где N_1 и N_2 — число работающих в сутки при удельном водоотведении соответственно в холодных и горячих цехах 25 и 45 л/см на одного работающего (см. табл. 2.4); N_3 и N_4 — то же в смену с максимальным числом работающих при удельном водоотведении соответственно 25 и 45 л/см на одного работающего; Q_{mid} — среднесуточный расход; $Q_{max.см}$ — расход в смену с максимальным числом работающих; $K_{б.х} = 3$ и $K_{б.г} = 2{,}5$ — коэффициенты часовой неравномерности при удельном водоотведении соответственно 25 и 45 л/см на одного работающего; t — продолжительность смены, ч.

Расчетные расходы душевых вод с учетом их равномерного образования в течение 45 мин последнего часа смены можно определять по формулам:

$$Q_{max.см} = q_{д.с} m_д \cdot 45/1000 \cdot 60, \text{ м}^3/\text{см}; \tag{2.19}$$

$$Q_{см} = (q_{д.с} m_д \cdot 45/1000 \cdot 60)(N_{см}/N_{max}), \text{ м}^3/\text{см}; \tag{2.20}$$

$$q_{max.s} = q_{д.с} m_д/3600, \text{ л/с}, \tag{2.21}$$

где $q_{д.с}$ — расход воды через одну душевую сетку, равный 500 л/ч; $m_д$ — число душевых сеток; $N_{см}$ и N_{max} — число рабочих, пользу-

ющихся душем, соответственно в рассчитываемую и максимальную смены; 45 — продолжительность работы душа в последний час смены, мин.

Число душевых сеток

$$m_д = N_{max} \cdot t_п/t_д, \text{ шт}, \quad (2.22)$$

где $t_п = 9$ — продолжительность водной процедуры одним пользующимся душем, мин; $t_д = 45$ — продолжительность работы душа, мин.

Расход душевых вод можно определить по формулам:

$$Q_{mid} = (40N_5 + 60N_6)/1000, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (2.23)$$

$$Q_{max.см} = (40N_7 + 60N_8)/1000, \text{ м}^3/\text{см}; \quad (2.24)$$

$$q_{max.s} = (40N_7 + 60N_8)/(45 \cdot 60), \text{ л/с}, \quad (2.25)$$

где N_5 и N_7 — число пользователей душем в холодных и горячих цехах с удельной нормой 40 л/чел; N_6 и N_8 — то же в горячих цехах с удельной нормой 60 л/чел.

Расчетные расходы производственных сточных вод определяют по формулам:

$$Q_{mid} = q_п M, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (2.26)$$

$$Q_{max.см} = q_п M_{max}, \text{ м}^3/\text{см}; \quad (2.27)$$

$$q_{max.s} = q_п M_{max} K_п/(t \cdot 3{,}6), \text{ л/с}, \quad (2.28)$$

где $q_п$ — удельное водоотведение производственных сточных вод, м^3, на единицу выпускаемой продукции; M и M_{max} — количество выпускаемой продукции соответственно в сутки и смену с наибольшей производительностью; $K_п$ — коэффициент часовой неравномерности притока производственных сточных вод; t — продолжительность смены (технологического процесса), ч.

Коэффициент $K_п$ зависит от отрасли промышленности, вида выпускаемой продукции и степени совершенства технологического процесса.

При проектировании коэффициент $K_п$ следует принимать на основании опыта работы аналогичных промышленных предприятий или по рекомендациям технологов.

Расчет, выполненный по приведенным выше формулам, позволяет установить экстремальные часовые расходы сточных вод и расходы за другое время.

Для удобства расчетов водоотводящих сооружений полученные результаты определения расходов целесообразно сводить в ведомости. Форма сводной ведомости приведена в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Ведомость суммарных расходов сточных вод

Обслуживаемый объект	*Расходы сточных вод*					
	среднесуточные, $м^3$/сут		*максимальные часовые, $м^3$/ч*		*максимальные секундные, л/с*	
	бытовых и душевых	*производственных*	*бытовых и душевых*	*производственных*	*бытовых и душевых*	*производственных*
Город						
Промышленное предприятие						
Всего						

Режим водоотведения сточных вод по часам суток. Распределение расхода сточных вод по часам суток удобно представлять в виде ступенчатого графика (рис. 2.1). По оси абсцисс откладывается время суток, а по оси ординат — часовые расходы в $м^3$ или в % от суточного расхода.

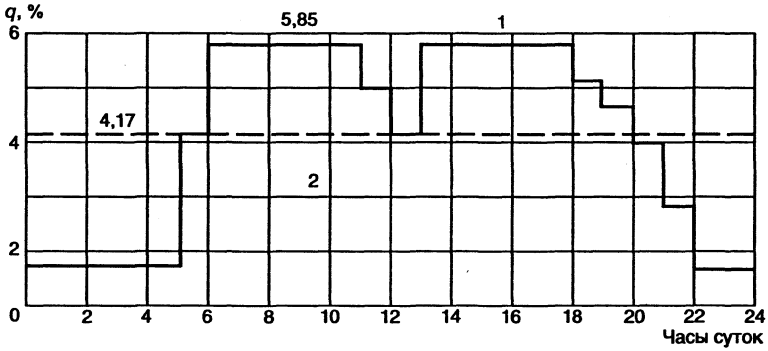


Рис. 2.1. Ступенчатый график притока сточных вод:
1 — реальный приток; 2 — равномерный приток

Отклонение от значения среднечасового расхода, равного 100/24 = 4,17%, зависит от среднесекундного расхода и соответствующего ему коэффициента неравномерности водоотведения.

Такие графики наглядны и более точны, если строятся при заполнении суммарной таблицы притока сточных вод от города и промышленных предприятий с учетом распределения бытовых и производственных сточных вод от промышленного предприятия по часам смены.

Расчетные участки трубопроводов и коллекторов — это отдельные расчетные участки, в пределах которых расход считают условно

постоянным. Определять суммарные (максимальные) расчетные расходы сточных вод различного происхождения с учетом графиков их притока для всех участков сложно, так как эти пиковые расходы не совпадают по времени, что способствует созданию некоторого запаса. Этот запас наиболее ощутим лишь на нескольких начальных участках, когда так называемый сосредоточенный расход бытовых, душевых и производственных сточных вод от промышленных предприятий соизмерим с расходом бытовых вод от города, отводимым по коллекторам наибольшего сечения.

Опыт проектирования водоотводящих сетей подтверждает возможность указанного выше метода определения расчетных (суммарных) расходов.

При расчете насосных станций, аварийно-регулирующих резервуаров и очистных сооружений необходимо иметь распределение суточных и сменных расходов по часам суток и смен.

Суммарные расходы сточных вод в отдельные часы суток получают путем составления суммарной таблицы притока сточных вод, форма которой представлена в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Ведомость суммарного почасового притока сточных вод от города и промышленных предприятий

Часы суток	*Бытовые воды от города*		*Воды от промышленного предприятия № 1*					*Суммарные расходы*	
			бытовые		*душевые*	*производственные*			
	%	$м^3$	%	$м^3$	$м^3$	%	$м^3$	$м^3$	%
0–1 1–2 … … 23–24									
Всего	100		100			100			100

Максимальный часовой расход по табл. 2.6 будет меньше суммы максимальных расходов отдельных видов сточных вод, получаемой с помощью табл. 2.5, так как пиковые расходы не совпадают по времени.

Расчет с использованием табл. 2.6 исключает запас, и этот расход ближе к действительному.

В значениях удельного водоотведения бытовых вод учтены расходы не только от жилых домов, но и от административных зданий и коммунально-бытовых предприятий. Формулы (2.14) и (2.15)

предполагают равномерное отведение сточных вод с площади кварталов. При размещении на этой площади административных и коммунальных объектов этот принцип нарушается.

На участках, отводящих воду от таких объектов, следует проверять трубопроводы на пропуск сосредоточенных расходов от них. Эти расходы устанавливают по соответствующим действующим нормативам.

В то же время расходы воды на других участках сети могут быть меньше вычисленных по формулам (2.14) и (2.15). В этом случае для района, где расположены административные здания и коммунальные предприятия, модуль стока следует определять без учета расходов воды от указанных выше объектов по формуле

$$q_0 = \frac{(Q_{mid} - \sum Q_c) \cdot 1000}{\sum F \cdot 86\,400}, \text{ л/(с} \cdot \text{га)}, \qquad (2.29)$$

где Q_{mid} — среднесуточный расход сточных вод от рассматриваемого района водоотведения, м^3/сут, с суммарной площадью кварталов $\sum F$, га; $\sum Q_c$ — сумма сосредоточенных расходов от объектов нежилого назначения, м^3/сут.

Удельное водоотведение без учета расходов от нежилых объектов $q'_б$ может быть определено по формуле

$$q'_б = q_б - \frac{\sum Q_c \cdot 1000}{\sum F \cdot P}, \text{ л/(чел} \cdot \text{сут)}. \qquad (2.30)$$

Определение расчетных расходов сточных вод для отдельных участков сети. Расчетный расход для расчетного участка сети можно определить по тяготеющим площадям и удельному расходу на единицу длины трубопровода. Первый метод «площадей» широко применяется в инженерной практике, второй — метод «длин» — применяется реже, преимущественно при расчете сети с использованием ЭВМ.

При определении расчетного расхода по тяготеющим площадям используются понятия транзитного, бокового, попутного и сосредоточенного расходов.

На рис. 2.2 представлены модели, иллюстрирующие методику определения расхода q_{21-22} на участке 21–22.

Транзитный расход $q_{тр}$ — расход на предшествующем расчетном участке (участок 20–21); боковой расход $q_{бок}$ — расход, поступающий с боковой ветки; попутный расход $q_{поп}$ — расход, поступающий с прилегающего квартала; q_c — сосредоточенный расход от нежилого объекта.

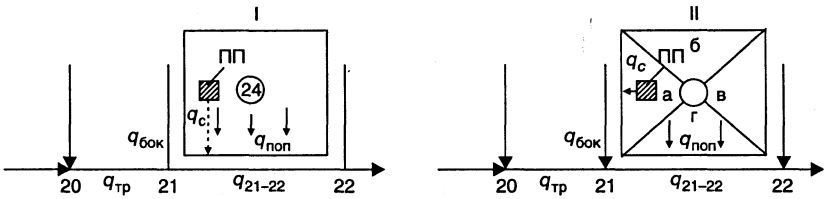


Рис. 2.2. Модели к определению расчетных расходов:
I — трассировка сети по пониженной грани; II — то же по объемлющей схеме;
а–г — части кварталов, тяготеющие к прилегающим веткам

При определении расчетного расхода общий коэффициент неравномерности может быть введен только на общий средний расход q_i:

$$q_i = q_0 \cdot F_i, \text{ л/с}, \qquad (2.31)$$

где q_0 — модуль стока, вычисляемый по формуле (2.15); F_i — общая площадь кварталов, тяготеющая к данному расчетному участку.

По схемам на рис. 2.2 видно, что попутный расход $q_{поп}$ на участке 21–22 поступает по всей его длине. В целях упрощения расчета его условно считают присоединенным в начале участка (в точке 21).

Сосредоточенный расход $q_с$ от нежилого объекта определяют как сумму расчетных расходов сточных вод различного происхождения (например, бытовых, душевых и производственных), каждый из которых вычисляют соответственно по формулам (2.18), (2.21) и (2.28). Различают местный и транзитный сосредоточенные расходы.

I. Местный сосредоточенный расход — расход от промышленного предприятия, расположенного на прилегающем квартале или его части (при трассировке сети по пониженной стороне квартала), показан на рис. 2.2, *г*.

II. Транзитный сосредоточенный расход — расход от промышленного предприятия, попадающий в сеть выше расчетной точки 21 (рис. 2.2, *б*).

Таким образом, расчетный расход на отдельном участке сети q_{21-22} определяется по формуле

$$q_{21-22} = [(q_{поп} + q_{бок}) + q_{тр}] \cdot K + q_с, \text{ л/с}. \qquad (2.32)$$

В целях упрощения расчеты осуществляют по определенной форме.

Раздел II
СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Глава 3
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

3.1. РАЗБИВКА ТЕРРИТОРИИ НА БАССЕЙНЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ ТРАССИРОВКИ СЕТИ

Разработка проекта водоотведения города выполняется на генплане города в масштабе 1 : 5000, 1 : 10 000 с горизонталями через 1 м.

На рис. 3.1 показана расчетная схема водоотводящей сети бытовых вод города с указанием бассейнов водоотведения, главных коллекторов, насосных станций и очистных сооружений. Принцип трассировки должен обеспечивать минимальный объем земляных работ. Для удобства проведения вычислительных работ результаты заносят в таблицы.

На схеме водоотведения нумеруют все кварталы и определяют их площадь (га). Расчетный коллектор разбивают на отдельные расчетные участки (рис. 3.1).

3.2. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ (табл. 3.1)

В графу 1 заносят номера расчетных участков по движению воды от кварталов, создающих попутный, боковой и транзитный расходы, а в графу 3 — вычисленные суммы их площадей F, га.

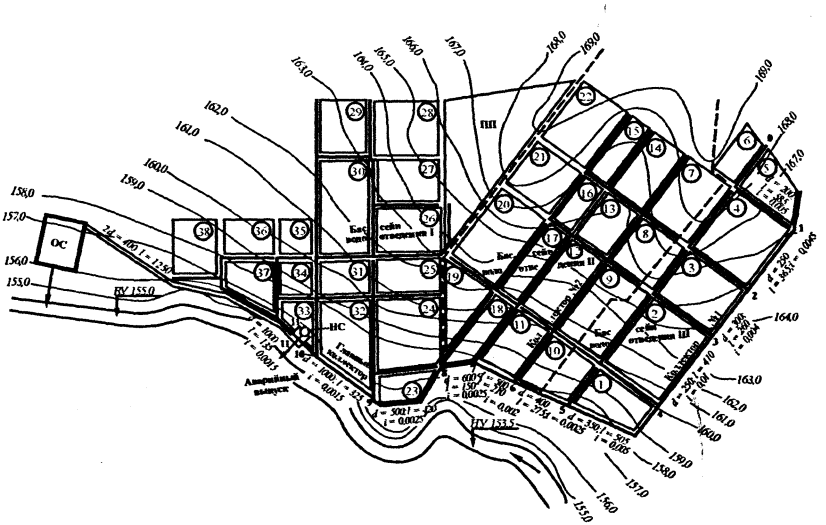


Рис. 3.1. Расчетная схема водоотводящей сети города

Таблица 3.1

Определение расчетных расходов для отдельных участков сети коллектора № 1

№ расчетного участка	№ квартала	F, га	q_0, л/(с · га)	$q_{пол} + q_{бок}$, л/с	$q_{тр}$, л/с	$q_{mid.s}$, л/с	K	q, л/с	Сосредоточенный расход, q_c, л/с		Расчетный расход q_{cir}, л/с
									местный	транзитный	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0–1	6	3,2	0,69	2,21	–	2,21	5,97	5,97	–	–	5,97
1–2	5;4	13,5	0,69	9,32	2,21	11,53	24,21	24,21	–	–	24,21
2–3	7(1/4)	2	0,69	1,38	11,53	12,91	26,47	26,47	–	–	26,47
3–4	3; 8(1/3)	10,27	0,69	7,09	12,91	20	38	38	–	–	38
4–5	9(1/2); 2;	22,9	0,69	15,8	20	35,8	64,44	64,44			64,44
5–6	1;	5,7	0,69	3,93	35,8	39,73	70,32	70,32	–	–	70,32
6–7	10 9(1/2); 7(3/4); 8(2/3); 11–16;	57,74	0,69	39,84	39,73	79,57	130,49	130,49	–	–	130,49
7–8	21; 22 17; 18; 20	17,6	0,69	12,14	79,57	91,71	148,57	148,57	–	–	148,57

В графе 4 указывают определенный для данного района модуль стока q_0, л/(с·га).

В графу 5 заносят значение среднего секундного расхода со всей тяготеющей к данному участку площади. Транзитный расход в графе 6 равен среднему расходу в графе 7 на предыдущем расчетном участке.

В графу 7 записывают $q_{mid.s}$ — сумму средних бокового, попутного и транзитного расходов; в графу 9 — $q_{max.s}$ — максимальный расход бытовых вод на расчетном участке.

Местный сосредоточенный расход на всех последующих участках становится транзитным. Расчетный расход в графе 12 вычисляется как сумма расходов в графах 9–11.

Определение расчетных расходов начинают с диктующих точек. В табл. 3.1 приведено вычисление расчетных расходов для коллектора № 1 схемы водоотводящей сети города, представленной на рис. 3.1.

Техника вычисления существенно упрощается, если результаты гидравлического расчета и построение продольного профиля сводятся в таблицу определенной формы (табл. 3.2).

Расчетный расход сточных вод по удельному расходу на единицу длины трубопроводов, тяготеющих к отдельным участкам сети, определяется аналогично описанному выше.

Средние попутные, боковые и транзитные расходы находят по формуле

$$q_i = q_{уд} \sum l_i, \text{ л/с}, \tag{3.1}$$

где $q_{уд}$ — удельный расход на 1 м длины самотечных трубопроводов всего города; $\sum l_i$ — суммарная длина всех участков сети, присоединяемых к началу расчетного участка.

Удельный расход (л/с) определяется по формуле

$$q_{уд} = q_{mid.s}/L, \tag{3.2}$$

где $q_{mid.s}$ — средний секундный расход сточных вод от всего города, определяемый по формуле (2.12); L — общая протяженность самотечных трубопроводов города, м.

Вычисленные расходы сточных вод для отдельных участков сети сводятся в табл. 3.3, аналогичную табл. 3.2.

Отличие табл. 3.3 от табл. 3.2 заключается в том, что в графе 2 проставляются номера участков боковых веток, присоединяемых к началу расчетного участка, а в графе 3 — суммарная длина этих участков, в графе 4 — удельный расход, определенный по формуле (3.2).

Таблица 3.2

Гидравлический расчет коллектора

№ участка	Длина l, м	Расчетный расход q_{cit}, л/с	Диаметр d, мм	Уклон i	Скорость v, м/с	Наполнение		Падение h = il
						h/d	h, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0–1								

Окончание табл. 3.2

Отметки по расчетным участкам, м						Глубина заложения лотка трубы, м	
поверхности земли		поверхности воды		лотка трубы			
в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
10	11	12	13	14	15	16	17

Таблица 3.3

Определение расчетных расходов для отдельных участков сети по удельному расходу на 1 м длины трубопровода

№ расчетного участка	№ участка	∑L, м	$q_{уд}$, л/(с · м)	$q_{поп} + q_{бок}$, л/с	$q_{тр}$, л/с
1	2	3	4	5	6
0–1					
1–2					

Примечание. Графы 7–12 (в таблице не показаны) аналогичны этим же графам в табл. 3.1.

Анализ рассмотренных выше методов определения расчетных расходов показывает, что метод по тяготеющим площадям более точен, а метод по удельному расходу может давать завышенные или заниженные расходы на первых пяти — десяти расчетных участках, начиная от диктующей точки.

3.3. ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Минимальная глубина заложения трубопроводов принимается исходя из следующих трех условий: исключение промерзания труб; исключение механического разрушения труб под действием внешних нагрузок; обеспечение самотечного присоединения к трубопроводам внутриквартальных сетей и боковых веток.

Температура сточных вод в зимнее время не снижается ниже 10 °С, поэтому оказывается возможным прокладывать трубопро-

воды на глубине, меньшей глубины промерзания грунта (рис. 3.2). Благодаря большой теплоемкости воды вокруг трубы образуется зона талого грунта, которая примыкает к нижней зоне непромерзающего грунта, поэтому трубопровод не промерзает и не разрушается.

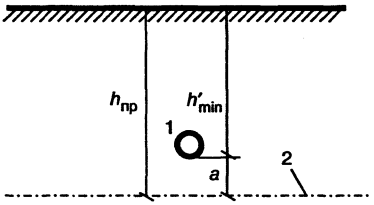


Рис. 3.2. Определение глубины заложения трубопровода:
1 — трубопровод; 2 — граница мерзлого грунта

Минимальную глубину заложения трубопроводов принимают на основании опыта эксплуатации подземных коммуникаций в данной местности.

При отсутствии данных по опыту эксплуатации минимальная глубина

$$h'_{min} = h_{пр} - a, \tag{3.3}$$

где $h_{пр}$ — глубина промерзания грунта; a — величина, зависящая от диаметра трубопровода, значение которой рекомендуется принимать равным 0,3 м — при диаметре до 500 мм и 0,5 м — при большем диаметре.

Данные о глубине промерзания грунта представлены на рис. 3.3. В целях исключения механического разрушения трубопроводов от внешних нагрузок, возникающих в городских условиях, глубина заложения должна быть не меньше 0,7 м до верха трубопровода. Следовательно, минимальная глубина трубопровода до лотка

$$h''_{min} = 0{,}7 + d, \tag{3.4}$$

где d — диаметр трубы, м.

Минимальная глубина заложения трубопровода в диктующей точке принимается из сравнения этих условий, при этом принимается бóльшая из них. Продольный профиль поверхности земли строится с учетом отметок земли в узловых точках коллектора, взятых по горизонталям с плана города путем интерполирования. Построение продольного профиля коллектора начинается с определения начальной глубины заложения сети в ее «диктующих» точках.

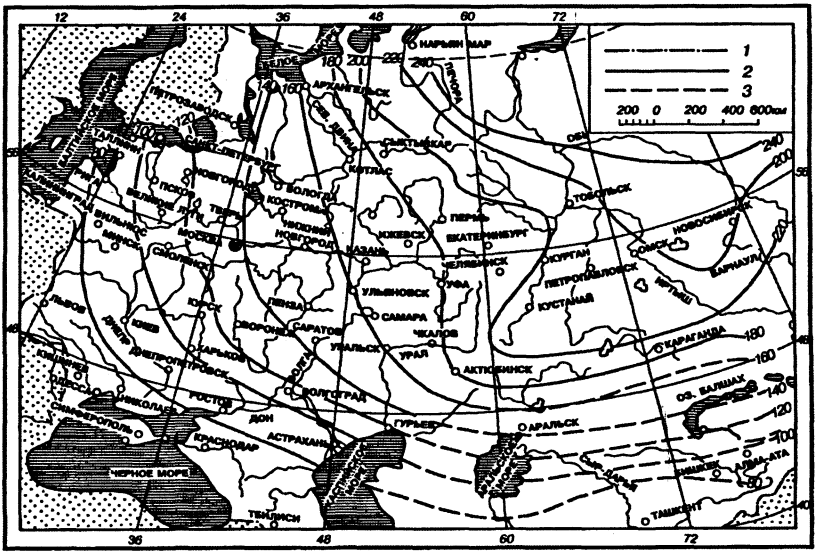


Рис. 3.3. Карта глубин промерзания грунта:
1 — границы стран СНГ; 2 — изолинии глубин промерзания суглинистых грунтов; 3 — то же для малоисследованных районов

При этом должен обеспечиваться самотечный выпуск сточных вод в городскую сеть от самого далеко и низко расположенного здания в квартале, примыкающего к начальному участку сети. Минимально допустимая глубина уличной сети в начальной точке H_0, м, определяется по формуле

$$H_0 = h_{\text{вып}} + i(L + l) + Z_0 - Z_{\text{вып}} + \Delta d, \qquad (3.5)$$

где $h_{\text{вып}}$ — глубина заложения выпуска из самого удаленного здания квартала ($h_{\text{вып}} = h_{\min}$), м; Z_0 — отметка поверхности земли в начальной точке уличной сети, м; i — уклон внутриквартальной сети (обычно 0,008–0,01); $L + l$ — суммарная длина внутриквартальной сети и соединительной ветки, м; $Z_{\text{вып}}$ — отметка поверхности земли у выпуска, м; Δd — разница в диаметрах городской и внутриквартальной сетей, м.

На рис. 3.4 представлена схема к определению минимально допустимой глубины сети в диктующей точке, глубины первого колодца уличной сети. Суммарную длину внутриквартальной сети следует назначать по проекту внутриквартальной сети. В случае его отсутствия длина сети может быть принята равной сумме глубины квартала L и половины ширины проезда l, как на рис. 3.4, *а*.

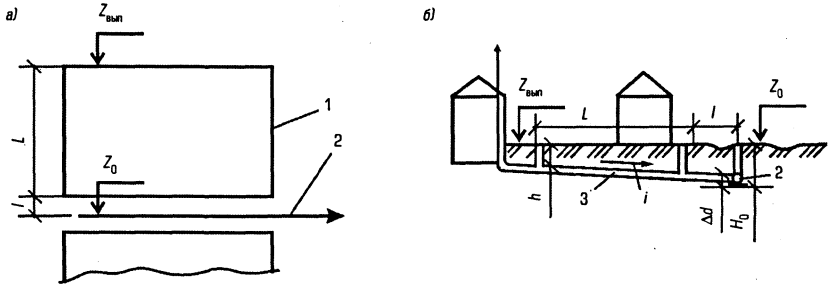


Рис. 3.4. Расчетные схемы к определению начальной минимальной глубины заложения уличного трубопровода:
а — план участка; *б* — продольный профиль по трубопроводу; 1 — квартал; 2 — трубопровод уличной сети; 3 — трубопровод внутриквартальной сети

Аналогично определяется минимальная глубина трубопровода по длине коллектора. В проекте принимается наибольшая из минимальных глубин, определенных из трех указанных выше условий.

Максимальная глубина заложения трубопроводов при открытом способе производства работ диктуется гидрогеологическими, техническими и экономическими условиями. В скальных грунтах ее рекомендуется принимать равной 4–5 м; в мокрых плывунных — 5–6 м и в сухих нескальных — 7–8 м.

При обосновании необходимости прокладки коллекторов на больших глубинах применяют закрытые способы строительства. Особенно эффективен этот способ сегодня при реконструкции систем водоотведения крупных городов. При этом устраняются технические сложности строительства в стесненных городских условиях с интенсивным движением наземного транспорта и при большом насыщении подземными коммуникациями и сооружениями.

Применение щитового метода строительства с глубоким заложением коллекторов позволяет значительно сократить число насосных станций перекачки сточных вод, что, в свою очередь, повышает надежность систем водоотведения.

Проектирование водоотводящей сети обеспечивает разработку наиболее надежной и экономически эффективной системы водоотведения при соблюдении ряда важнейших оптимальных условий:

1) необходимо обеспечить условия самоочищения сети, т.е. скорости движения сточных вод на любом участке сети не должны быть меньше минимально допустимых для принятого диаметра труб;

2) для обеспечения вентиляции сети и возможного сверхрасчетного поступления сточных вод расчетное наполнение труб не должно превышать рекомендуемого для соответствующего диаметра;

3) следует соблюдать принцип наращивания скоростей по длине коллектора при плавном, слабовыраженном рельефе местности. Исключение допускается при переходе коллектора с крутого участка поверхности земли на более плоский при резком уменьшении уклона трубопровода.

Во избежание чрезмерного заглубления коллектора скорость на таких участках может уменьшиться при условии, что ее значения не будут ниже самоочищающих;

4) необходимо обеспечить возможность самотечного присоединения боковых линий;

5) не следует создавать подпора в сети;

6) необходимо обеспечить наименьшую по техническим условиям глубину заложения сети;

7) при больших уклонах местности скорости сточных вод не должны превышать скоростей, предельно допустимых для выбранного материала труб;

8) необходимо уменьшать количество насосных станций;

9) следует обеспечивать возможность расположения коллекторов на нормативно допустимых расстояниях от других трубопроводов и подземных сооружений как по горизонтали, так и по вертикали.

Важнейший этап проектирования водоотводящей сети — гидравлический расчет трубопроводов, в итоге которого строится продольный профиль коллекторов, должен реализовываться с учетом всех указанных выше условий оптимизации.

Продольный профиль представляет собой вертикальный разрез — развертку верхнего слоя земли с запроектированным трубопроводом в направлении движения воды (рис. 3.5). Гидравлический расчет начинают с диктующих точек — начальных, низкорасположенных и наиболее удаленных в схеме водоотведения.

При построении продольного профиля от диктующих точек заглубление трубопровода получается наибольшим. Поэтому обеспечивается самотечное присоединение других, более благоприятно расположенных всех боковых веток трубопроводов к проектируемому коллектору. Участок сети от диктующей точки до коллектора принято называть *диктующей веткой*.

Исходными данными для расчета являются: расчетный расход сточных вод; уклон поверхности земли; геологические и гидрогеологические, а также другие данные по трассе коллектора.

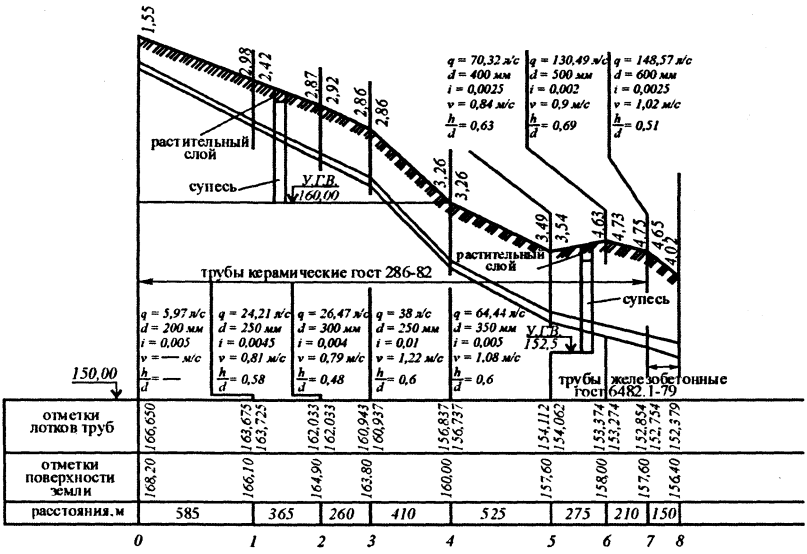


Рис. 3.5. Продольный профиль коллектора

В соответствии с технологическими требованиями, указанными выше, регламентируются скорости движения воды в трубопроводе и его наполнение. Гидравлический расчет сводится к выбору диаметра и уклона трубопровода, обеспечивающего пропуск расчетного расхода при скорости не ниже самоочищающей и наполнении не более регламентируемого нормами.

Уклон трубопровода строго связан со скоростью движения воды. При проектировании водоотводящей сети важнейшим требованием является обеспечение минимума приведенных затрат. Основное влияние на величину приведенных затрат оказывают капитальные вложения. Поэтому при проектировании следует стремиться к минимальной стоимости строительства, в основном к минимальному объему земляных работ.

Проанализируем возможности достижения указанных выше требований при различных условиях рельефа местности.

Первый случай, когда имеем наиболее благоприятные условия проектирования самотечной водоотводящей сети при сильно выраженном рельефе местности, если уклон местности $i_м > 0{,}005$.

На рис. 3.6, *а* изображена такая ситуация — уклон поверхности земли больше минимально допустимого уклона проектируемого

трубопровода, а начальное заглубление его равно минимальному. В этом случае наиболее целесообразно проектировать трубопровод с уклоном, равным уклону поверхности земли.

Расчет трубопровода выполняется методом подбора. Вначале задаются диаметром и затем проверяют, пропустит ли трубопровод при уклоне, равном уклону поверхности земли, расчетный расход при регламентируемом наполнении. Если пропускной способности недостаточно, то увеличивают диаметр; если наполнение слишком незначительное, то диаметр уменьшают.

В таких благоприятных ситуациях скорость в трубопроводе получается больше минимальной, и с точки зрения эксплуатации такие расчетные участки сети не требуют затрат на прочистку трубопроводов от отложений. На начальных участках сети при малых расходах (меньше 10–12 л/с) в трубопроводе минимального диаметра (d = 200 мм) могут не обеспечиваться регламентируемые минимальные скорость (v = 0,7 м/с) и наполнение (h/d > 0,5). В этом случае участок считают «безрасчетным» и диаметр для него принимают равным минимальному — 200 мм, а уклон — равным уклону поверхности земли, но не менее i_{min} = 0,005. Параметры работы трубопровода не принимают во внимание.

Второй случай, когда рельеф более сложный и уклон поверхности земли изменяется с меньшего на больший. На схеме этот случай представлен на втором участке (рис. 3.6, *б*). Для сокращения объема земляных работ (для выглубления сети) целесообразно в пределах участка с большим уклоном местности выйти на мини-

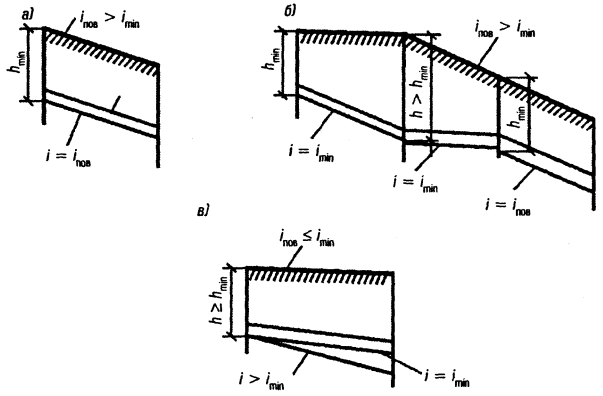


Рис. 3.6. Продольные профили расчетных участков при различных уклонах поверхности земли

мальную глубину. Это достигается на самом коротком участке, если уклон трубопровода равен минимальному уклону или уклону больше минимального, но меньше уклона местности, при этом в конце этого участка сеть выглубляется до $h = h_{min}$.

Третий случай — наименее благоприятный, когда уклон поверхности земли на расчетном участке меньше допустимого минимального уклона проектируемого трубопровода (рис. 3.6, *в*). В этом случае целесообразно проектировать трубопровод с уклоном, равным минимальному уклону. При построении продольного профиля трубопровода решается вопрос о соединении труб по высоте. В инженерной практике применяются два способа соединения труб в расчетной точке: шелыга в шелыгу и по уровням воды.

На рис. 3.7, *а* и *б* показаны схемы соединения трубопроводов одинакового диаметра, а на рис. 3.7, *в*, *г* — трубопроводов разного диаметра.

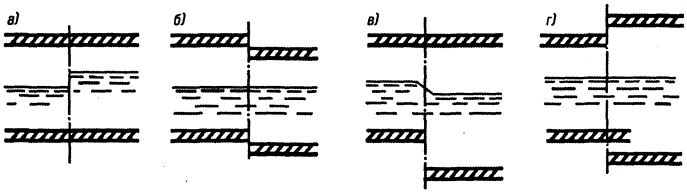


Рис. 3.7. Способы соединения труб:
а, *в* — шелыга в шелыгу; *б*, *г* — по уровням воды

Соединение трубопроводов осуществляется в пределах смотровых колодцев.

При соединении трубопроводов шелыга в шелыгу (см. рис. 3.7, *а*, *в*) совмещаются по высоте верхние части сводов труб, называемые шелыгами. При соединении труб по уровням воды (см. рис. 3.7, *б*, *г*) совмещаются по высоте расчетные уровни воды.

Опыт эксплуатации показывает, что для объектов водоотведения, имеющих равнинный характер со слабовыраженным рельефом местности, предпочтительны соединения труб одинакового диаметра по уровням воды, а разного диаметра — шелыга в шелыгу.

При соединении труб одинакового диаметра шелыга в шелыгу (см. рис. 3.7, *а*) возможно подтопление лежащих выше участков трубопроводов снизу, что нежелательно из условий самоочищения трубопроводов. При неблагоприятном, слабовыраженном рельефе

местности из двух методов соединения труб разного диаметра предпочтителен второй метод — по уровням воды (см. рис. 3.7, *г*), при котором заглубление сети получается наименьшим.

Продольный профиль выполняют в масштабах: горизонтальном, равном масштабу плана в 1 : 5000 или 1 : 10 000, и вертикальном, равном 1 : 50, 1 : 100 или 1 : 200.

В основании профиля заполняют четыре строки (полосы) со следующими данными (снизу вверх): номера расчетных точек; расстояния между ними; отметки поверхности земли; отметки лотков труб (см. рис. 3.5). Верхнюю линию этих строк принимают за условный горизонт. Отметка его принимается на 10 м ниже наименьшей отметки поверхности земли, для того чтобы в пределы профиля вместить изображения инженерных сооружений и коммуникаций по трассе коллектора. Отметки земли на профиле указывают с точностью до 1 см, а лотков труб — до 1 мм.

Поверхность земли между расчетными точками изображают прямыми линиями, если на этом участке не обнаруживается резко выраженного рельефа местности. Геологические и гидрогеологические данные наносят на профиле в виде колонок.

Построение трубопроводов производят также от условного горизонта. На профиле приводят данные о материале труб и оснований под них, показывают смотровые колодцы по концам расчетных участков и проектируемые насосные станции. Расчет начинают с диктующей точки. Данные расчета могут быть выписаны на профиле. Отметку лотка трубы в диктующей точке определяют вычитанием минимальной глубины заложения трубопровода от отметки поверхности земли в этой точке. Отметку лотка трубы в конце расчетных участков $Z_к$ вычисляют по формуле

$$Z_к = Z_н - h_{пот}, \tag{3.6}$$

где $Z_н$ — отметка лотка трубы в начале участка; $h_{пот}$ — падение лотка, определяемое по формуле $h_{пот} = il$, где l — длина расчетного участка сети с гидравлическим уклоном (уклоном лотка) i.

Отметки лотка трубы в начале второго и последующих участков определяют по формуле

$$Z'_н = Z'_к - \Delta d, \tag{3.7}$$

где $Z'_к$ — отметка лотка трубы в конце предыдущего участка; Δd — разница в диаметрах труб рассчитываемого и предыдущего участков (при соединении труб шелыга в шелыгу) или разница в наполнениях труб одинаковых диаметров также рассчитываемо-

го и предыдущего участков (при соединении труб по уровням воды).

При разработке рабочих чертежей продольный профиль строится в горизонтальном масштабе 1 : 500 или близком к этому соотношению.

На профиле указывают отметки планировки земли, род поверхности, место расположения трассы, углы поворотов, все смотровые колодцы и специальные проектируемые сооружения, а также все подземные сооружения, находящиеся в непосредственной близости от водоотводящего трубопровода. На рис. 3.8 показан рабочий чертеж продольного профиля коллектора.

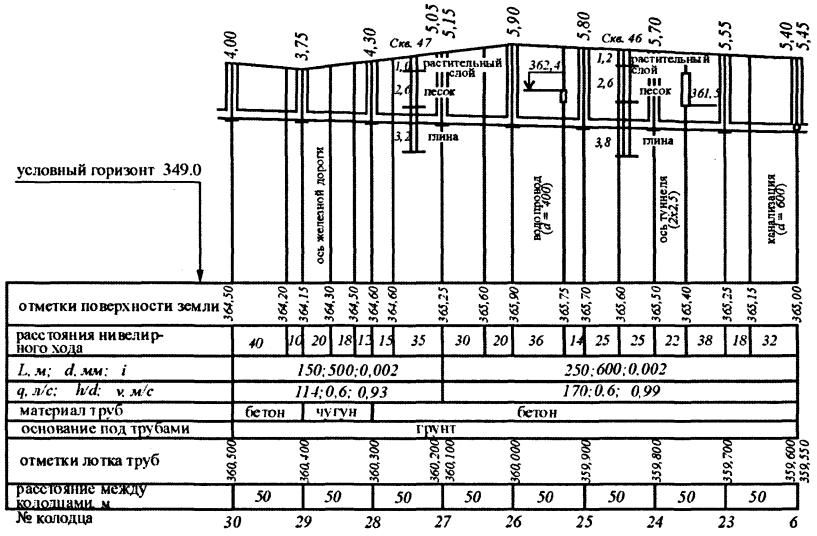


Рис. 3.8. Продольный профиль коллектора

3.4. КОНСТРУИРОВАНИЕ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

Под конструированием водоотводящей сети понимают строгое выполнение определенных инженерных решений, создающих безаварийную, надежную работу всех ее сооружений в любой момент времени. Основное требование — обеспечение в водоотводящей сети благоприятных гидравлических условий движения потока сточных вод, исключающих заиливание трубопроводов. Это тре-

бование заключается в создании самоочищающих скоростей на всех интервалах водоотводящей сети и во всех сооружениях. Между колодцами трубопроводы прокладывают строго прямолинейно. Точность укладки труб по заданной отметке составляет ±3 мм. В местах изменения направления трубопровода в плане, изменения его уклона, присоединения к нему боковых веток, а также на прямолинейных участках сети через 40–150 м следует устраивать смотровые колодцы. Соединения самотечных трубопроводов в колодцах выполняют в виде открытых лотков полукруглой формы. На поворотах лотки в пределах колодца выполняют по кривым с радиусом не менее диаметра трубы. На крупных коллекторах с диаметром от 1200 мм радиус кривой поворота принимают не менее пяти диаметров и предусматривают смотровые колодцы в начале и конце кривой. Угол поворота кривой потока в трубопроводах или при соединениях боковых веток не должен превышать 90°. Если по первоначальной схеме это условие не обеспечивается (рис. 3.9), то один поворот на угол $\alpha_н$, заменяется на два по углам α_1 и α_2 путем устройства дополнительной ветки.

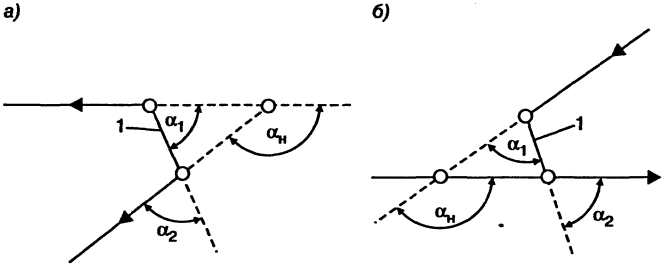


Рис. 3.9. Схемы поворота трубопровода (*а*) и присоединения боковых веток (*б*):
1 — дополнительная ветка

Любой угол поворота трубопровода в плане может быть выполнен при устройстве в колодце перепада — стояка. В этом случае поток совершает два поворота под углом 90°: первый — с горизонтального направления на вертикальное; второй — с вертикального на новое горизонтальное направление. Расчет трубопровода в направлении движения воды даже при увеличении расхода может привести к уменьшению диаметра. Это происходит при резком увеличении уклона трубопровода и, соответственно, увеличении его пропускной способности. Допускается уменьшение диаметра на один размер по сортаменту при диаметре трубопровода до

300 мм и на два размера — при большем диаметре. Соединения труб в этом случае выполняют по лоткам труб. При значительном увеличении уклона трубопровода возможно устройство быстротока, оборудованного водобойным колодцем для затопления гидравлического прыжка и гашения энергии потока. При большой разнице в заглублении труб соединение выполняют либо путем устройства перепадного колодца перед присоединением на боковой ветке (рис. 3.10, *а*), либо прокладки предыдущего перед присоединением участка трубопровода на боковой ветке с увеличенным уклоном (рис. 3.10, *б*). Расчетная скорость в боковом присоединении не должна быть больше, чем в основном коллекторе (v_0). В местах сопряжения потоков не следует допускать встречных течений, ударов струй и подпоров. Боковые присоединения не должны тормозить течение в основном потоке. Наполнения в присоединяемых трубах должны быть выровнены по уровню воды или быть выше, чем в основном коллекторе. Трубы малых размеров присоединяют к коллекторам больших размеров таким образом, чтобы лоток малого диаметра трубы находился на одном уровне с поверхностью воды при расчетном заполнении в трубе большого диаметра.

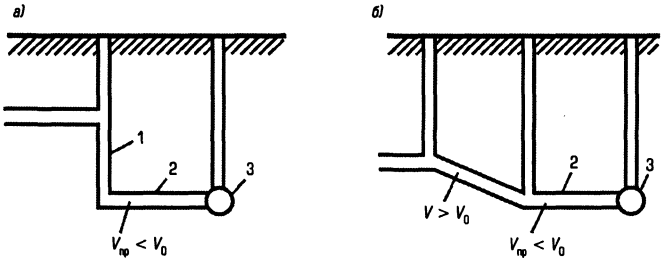


Рис. 3.10. Продольные профили боковых веток с перепадным колодцем (*а*) и участком с повышенным уклоном (*б*):
1 — перепадной колодец; 2 — боковая ветка; 3 — коллектор

Допускается присоединение внутриквартальных сетей к уличным коллекторам без устройства смотрового колодца (бесколодезное присоединение) при условии, что длина соединительной ветки от контрольного колодца на превышает 15 м и скорость движения сточных вод в коллекторе свыше 1 м/с. Конструкции присоединения без колодцев не должны вызывать изменения очер-

тания трубопровода основного коллектора и создавать препятствия для прохода оборудования при прочистке сети.

На стадии разработки рабочих чертежей решается вопрос о способе прокладки трубопроводов в пределах проездов. Их расположение обязательно должно увязываться с положением других подземных и наземных сооружений.

Расположение трубопроводов должно обеспечивать надежность функционирования, доступность при ремонтных работах, соблюдение санитарных условий и требований охраны окружающей природной среды.

При ширине проездов более 30 м целесообразно строить два трубопровода по краям проездов. При этом обеспечивается сокращение протяженности соединительных веток от внутриквартальных сетей.

При параллельной прокладке самотечных трубопроводов на одном уровне с водопроводами расстояние между стенками труб должно быть не менее 1,5 м при водопроводах диаметром до 200 мм и не менее 3 м — большего диаметра.

При пересечении с водопроводной сетью самотечные трубопроводы укладывают ниже не менее чем на 0,4 м. Это условие может не соблюдаться, если водопровод выполняется из металлических труб в футлярах.

При прокладке самотечных трубопроводов параллельно газопроводам расстояние в плане между стенками труб должно быть для газопроводов различного давления не менее:

- низкого (до 5 кПа) — 1 м, среднего (0,3 МПа) — 1,5 м;
- высокого (0,3–0,6 МПа) — 2 м, высокого (0,6–1,2 МПа) — 5 м.

На рис. 3.11 показана схема оптимального размещения подземных сетей и сооружений. В городах и на промышленных предприятиях со сложным хозяйством инженерные сети различного назначения прокладывают совмещенным способом в проходных тоннелях. В этом случае уклон тоннеля определяется уклоном, необходимым для надежной работы самотечной водоотводящей сети.

Неоднозначно отношение специалистов к устройству аварийных выпусков на водоотводящей сети. Назначение их заключается в обеспечении быстрых аварийно-восстановительных работ при катастрофических повреждениях на водоотводящей сети. Как показал опыт эксплуатации, отсутствие аварийных выпусков при недостаточной надежности системы водоотведения становится причиной неорганизованного отведения сточных вод по террито-

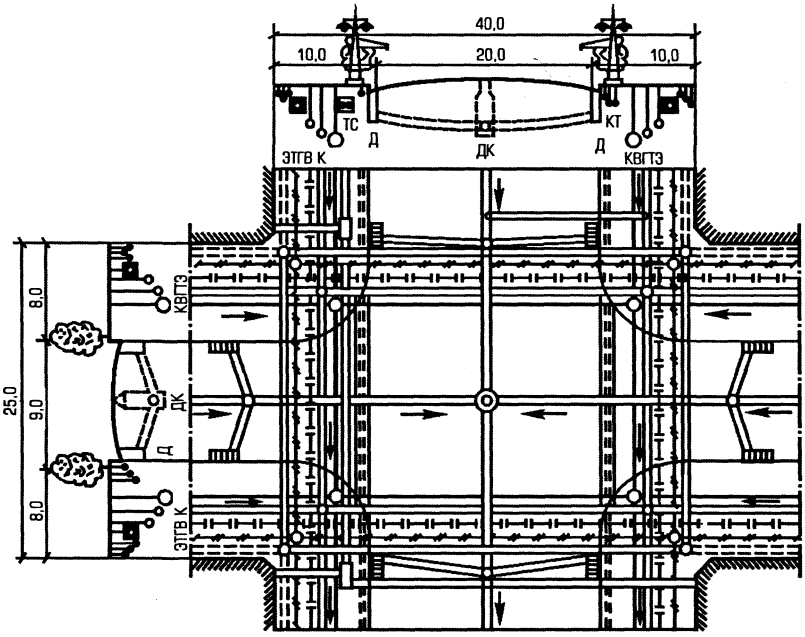


Рис. 3.11. Схема размещения подземных коммуникаций:
ТС — тепловая сеть; КТ — кабель трамваев; Э — электросеть; Т — телефон;
Г — газопровод; В — водопровод; К — трубопровод водоотводящей сети;
Д — дождеприемники; ДК — дождевая канализация

рии населенных мест и вывода из строя оборудования, что требует значительного времени на его замену. Аварийный выпуск следует рассматривать как необходимый элемент обеспечения быстрого выполнения аварийно-восстановительных работ. При дальнейшем развитии и повышении надежности необходимо развивать технологию водоотведения путем строительства аварийно-регулирующих резервуаров, дополнительных дублирующих водоводов, перемычек, обеспечивающих переключение потоков стоков по другим направлениям. При этом следует иметь в виду, что другие, более надежные средства, кроме аварийных выпусков, — это дорогостоящие сооружения, использование которых реально лишь при возникновении аварийных ситуаций, вероятность которых мала.

Глава 4
ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

4.1. ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЯХ

Транспортируемая из зданий сточная жидкость обладает определенной потенциальной энергией. Поэтому возможно ее самотечное транспортирование. И лишь в конце водоотводящих сетей возникает необходимость в перекачке сточных вод. В ряде случаев при больших уклонах поверхности земли вообще не требуется перекачка сточных вод.

Для проектирования бытовых водоотводящих сетей принимается безнапорный режим движения жидкости с частичным наполнением труб. На рис. 4.1 показаны элементы потока при самотечном (безнапорном) режиме. Следует иметь в виду, что в сетях, предназначенных для транспортировки дождевых вод (кроме бытовых и производственно-бытовых), расчетные расходы сточных вод наблюдаются лишь один раз в течение 0,25–10 лет. Следовательно, водоотводящие сети работают в безнапорном режиме при частичном наполнении. Этот режим обладает рядом преимуществ перед напорным режимом. В бытовых и производственно-бытовых сетях обеспечивается некоторый резерв в живом сечении трубопровода.

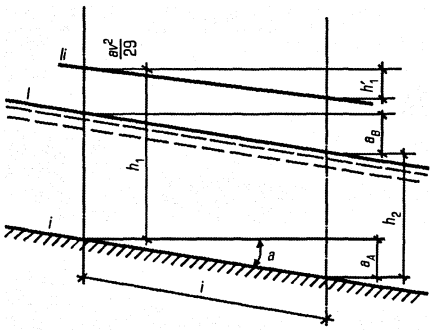


Рис. 4.1. Схема безнапорного режима движения потока

Через свободную от воды верхнюю часть сечения трубы осуществляется вентиляция разветвленной водоотводящей сети. При этом из трубопроводов непрерывно удаляются образующиеся в воде газы, которые вызывают коррозию трубопроводов и сооружений на них, осложняют эксплуатацию водоотводящих сетей и т.п. В безнапорном режиме движения жидкости лучше транспортируются с водой нерастворимые примеси, а также происходит самоочищение трубопроводов от отложений. Приток сточных вод осуществляется неравномерно. Часовой максимальный расход бытовых вод превышает минимальный расход в 3–5 раз. В случае безнапорного режима снижение скорости движения при уменьшении расхода происходит в значительно меньшей степени, так как одновременно уменьшается наполнение и живое сечение трубы. Таким образом, даже при расходах меньше расчетных самоочищающие скорости движения сточных вод сохраняются и в трубах не происходит накопления осадка в больших объемах.

4.2. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА САМОТЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Расчет самотечных трубопроводов заключается в определении их диаметра (или размеров коллектора, если он имеет некруглую форму), уклона и параметров их работы — наполнения и скорости. Обычно предварительно определяется расход, который является исходным для расчета.

Для упрощения гидравлических расчетов водоотводящих сетей движение воды в них условно принимается установившимся и равномерным.

Для расчета рекомендуются формулы:

постоянства расхода $q = \omega v$; (4.1)

Шези $v = C\sqrt{Ri}$, (4.2)

где q — расчетный расход, м^3/с; ω — площадь живого сечения, м^2; v — скорость, м/с; C — коэффициент Шези; $R = \omega/\chi$ — гидравлический радиус (χ — смоченный периметр, м); $i = h_l/l$ — уклон лотка; h_l — падение лотка на длине l (рис. 4.1).

В формуле (4.2) принято, что гидравлический уклон I равен уклону лотка i, так как движение воды равномерное, при котором глубины потока и средние скорости в разных сечениях равны.

Для определения коэффициента Шези рекомендуется формула известного ученого Н.Н. Павловского (при $0{,}1 < R < 3$ м)

$$C = R^y/n, \tag{4.3}$$

где y — показатель степени, определяемый по формуле

$$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1), \tag{4.4}$$

где n — коэффициент шероховатости, зависящий от состояния стенок трубопровода (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Значения коэффициентов n, $\Delta_э$ и a_2 для определения коэффициента C и λ

Характеристика труб и коллекторов	n	$\Delta_э$, *см*	a_2
Трубы:			
керамические	0,013	0,135	90
бетонные и железобетонные	0,014	0,2	100
асбестоцементные	0,012	0,06	73
чугунные	0,013	0,1	83
стальные	0,012	0,08	79
Коллекторы:			
бетонные и железобетонные монолитные	0,015	0,3	120
то же сборные	0,014	0,08	50
кирпичные	0,015	0,315	110
земляные в различных грунтах	0,022-0,03	–	–

Для приблизительных расчетов Н.Н. Павловский рекомендовал следующие формулы:

$$\left.\begin{aligned} y &\approx 1{,}5\sqrt{n} \quad \text{при } 1{,}0 < R < 1{,}0; \\ y &\approx 1{,}3\sqrt{n} \quad \text{при } 1{,}0 < R \cdot 3{,}0. \end{aligned}\right\} \tag{4.5}$$

При $y = {}^1/_6$ формула известна как формула Маннинга. Формула (4.3) справедлива для области турбулентного режима течения жидкости.

Формула (4.2) может быть представлена в виде

$$i = (\lambda/4R)(v^2/2g). \tag{4.6}$$

Проф. Н.Ф. Федоров рекомендует определять коэффициент гидравлического трения λ по формуле

$$1/\sqrt{\lambda} = -2\lg(\Delta_э/13{,}68R + a_2/\mathrm{Re}), \tag{4.7}$$

где $\Delta_э$ — эквивалентная абсолютная шероховатость; a_2 — коэффициент, учитывающий характер шероховатости стенок труб (см.

табл. 4.1); $\mathrm{Re} = 4Rv/\nu$ — число Рейнольдса (ν — кинематический коэффициент вязкости).

Если учесть соотношение

$$C = \sqrt{8g/\lambda},$$

то формула (4.6) преобразуется в формулу (4.2).

По формуле (4.7) коэффициент λ (следовательно, и коэффициент C) зависит не только от относительной шероховатости, но и от числа Рейнольдса. Эта формула справедлива для всех трех областей турбулентного режима движения жидкости: областей гладкого, вполне шероховатого трения и переходной области между ними. Исследования показали, что трубопроводы водоотводящих сетей работают в области вполне шероховатого трения. Для возможных условий проектирования расчеты по формулам (4.1)–(4.3) и (4.6)–(4.7) дают практически одинаковые результаты.

При определении местных потерь напора используется формула Вейсбаха

$$h_м = \zeta v^2/2g, \qquad (4.8)$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления, значения которого приводятся в справочной литературе.

4.3. ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ТРУБ И КАНАЛОВ

В практике строительства водоотводящих сетей наиболее широко используются трубы круглого сечения, которые в большей степени удовлетворяют гидравлическим, технологическим, строительным и другим требованиям. На рис. 4.2 показаны различные формы поперечных сечений водоотводящих труб, коллекторов и каналов, подразделяющихся на круглые, сжатые и вытянутые.

Круглый трубопровод имеет гидравлически наиболее выгодную форму, обладает большей пропускной способностью и удовлетворяет требованиям индустриализации строительства. Круглая форма сечения предпочтительна для осуществления прочисток от выпавшего осадка. Сжатые формы сечений (рис. 4.2, *б*, *и*, *к*) обеспечивают меньшее заглубление трубопроводов и применяются при незначительных колебаниях расходов сточных вод.

Коллекторы, имеющие вытянутые формы сечений (рис. 4.2, *д*, *е*, *ж*, *з*), целесообразно применять при больших колебаниях расхо-

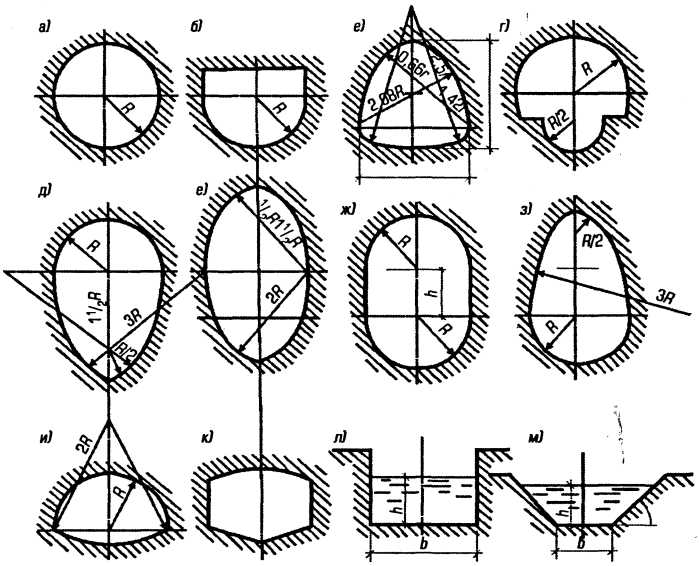


Рис. 4.2. Формы поперечного сечения водоотводящих труб, коллекторов и каналов:
а — круглое; *б* — полукруглое; *в* — шатровое; *г* — банкетное; *д* — яйцевидное (овоидальное); *е* — эллиптическое; *ж* — полукруглое с прямыми вставками; *з* — яйцевидное перевернутое; *и* — лотковое; *к* — пятиугольное; *л* — прямоугольное; *м* — трапецеидальное

дов, так как практически при любом наполнении обеспечивается оптимальное соотношение глубины и ширины водного потока.

Для отвода сточных вод со значительными колебаниями расходов применяются коллекторы, имеющие банкетное сечение (рис. 4.2, *г*).

При индустриализации строительства наибольшее преимущество имеют те трубы, которые можно выполнить с наименьшим числом элементов по периметру коллектора.

За пределами городов и населенных пунктов возможно применение незамкнутых сечений (без перекрытий) трапецеидальной и прямоугольной форм каналов (рис. 4.2, *л*, *м*). Они применяются для транспортирования сточных вод в пределах очистных станций — от сооружения к сооружению.

Гидравлическая характеристика поперечных сечений круглой формы коллекторов определяется наибольшей их пропускной способностью при заданном уклоне и площади живого сечения потока.

При одной и той же величине гидравлического радиуса R скорости течения жидкости водоотводящей сети круглого сечения при полном и половинном наполнении считают равными; они достигают максимума при наполнении $h = 0{,}813d$. Пропускная способность труб (или расход) достигает максимума при наполнении $h = 0{,}95d$, а затем уменьшается. Причем расход при полном наполнении трубы в 2 раза больше, чем при половинном.

На рис. 4.3 приведены кривые изменения скоростей v и расходов q в трубах круглого сечения в зависимости от степени наполнения. По оси ординат отложены степени наполнения h, а по оси абсцисс — соответствующие этим наполнениям скорости v и расходы q, выраженные в долях от скорости и расхода при полном наполнении. Наполнение $h < 0{,}5d$ не принимается, так как при этом существенно уменьшаются скорость потока и расход воды.

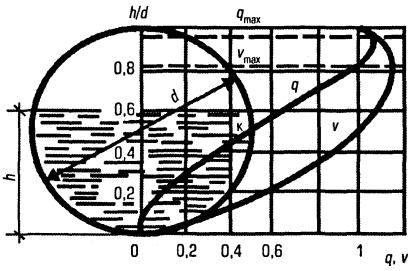


Рис. 4.3. Зависимость q и v от степени наполнения трубопровода h/d

Для городских водоотводящих сетей в зависимости от диаметра трубопровода рекомендуется $h = 0{,}5d$–$0{,}8d$, для водостоков — $h = 0{,}95d$–$1{,}0d$.

4.4. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКА БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

В целях исключения подтопления трубопроводов при расчетных условиях наполнение в трубопроводах бытовой водоотводящей сети рекомендуется принимать не более 0,8. Рекомендуемые максимальные наполнения приведены в табл. 4.2.

В трубопроводах дождевых сетей (водостоках) полных раздельных систем водоотведения, а также в общесплавных трубопро-

водах и общесплавных коллекторах полураздельных систем водоотведения при расчетных условиях наполнение рекомендуется принимать равным единице, т.е. полным.

Содержащиеся в сточных водах нерастворенные примеси способны выпадать в осадок, уменьшать сечение трубопроводов и вызывать их полное засорение.

В настоящее время расчет трубопроводов производится на условии поддержания труб в чистом состоянии при максимальном расчетном расходе. Таким образом, при минимальных расходах в трубопроводах допускаются отложения, но при достижении расчетного расхода трубопроводы должны самоочищаться (рис. 4.4). Поэтому при расчете широко используется понятие *самоочищающая скорость*. Это *минимальная скорость*, которая должна обеспечиваться в водоотводящих сетях при расчетном расходе, при котором возможно самоочищение.

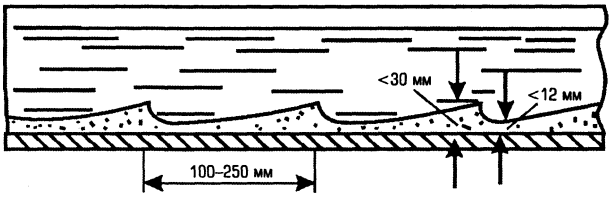


Рис. 4.4. Схема непрерывного передвижения отложений в водоотводящей сети

Профессора Н.Ф. Федоров и А.М. Курганов (С.-ПбГАСУ) минимальную скорость, которую необходимо соблюдать в трубопроводах из условий самоочищения, называют *незаиляющей*. Для ее определения проф. Н.Ф. Федоров предложил формулу

$$v_н = A\sqrt[n]{R}, \tag{4.9}$$

где $A = 1{,}42$ и $n = 4{,}5 + 0{,}5R$ с учетом корректировки М.И. Алексеева (С.-ПбГАСУ).

Профессором В.И. Калицуном (МГСУ) для определения самоочищающей скорости получена формула

$$v_{min} = u_0 C / \sqrt{q}. \tag{4.10}$$

С учетом формулы (4.3)

$$v_{min} = u_0 R^y / n\sqrt{q}, \tag{4.11}$$

где u_0 — гидравлическая крупность — скорость осаждения частиц песка в покоящейся жидкости.

Формула (4.11) учитывает крупность песка, который может содержаться в сточной воде. Изменение крупности песка может быть обусловлено видом сточных вод (бытовые, дождевые, производственные), совершенством покрытий проездов, особенностями их содержания и др.

Самоочищающая скорость зависит и от коэффициента шероховатости n, так как важным источником турбулентности потока является шероховатость русла. Если в трубопроводах имеется осадок в виде гряд, то коэффициент $n \approx 0{,}025$. Если трубопровод чист, то $n \approx 0{,}014$. По формуле (4.11) самоочищающая скорость в первом случае меньше, чем во втором. Первый случай определяет условия самоочищения, а второй — критические условия (условия, исключающие осаждение взвешенных веществ). Формула (4.11) позволяет определять как самоочищающую скорость, так и критическую. Они различны, так как различны шероховатости русел. Но условия турбулентности в описанных двух случаях практически одинаковы.

Итогом всех предшествующих исследований являются значения минимальных скоростей, которые представлены в табл. 4.2. Эти значения близки к тем, которые следуют из формул (4.9) и (4.10).

Таблица 4.2

Рекомендуемые наполнения и минимальные скорости и уклоны

Диаметр, мм	*Максимальная степень наполнения*	*Минимальные*	
		скорость, м/с	*уклон*
200	0,6	0,7	0,0046
300	0,7	0,8	0,0033
400	0,7	0,8	0,0021
500	0,75	0,9	0,002
600	0,75	1,0	0,0019
800	0,75	1,0	0,0013
1000	0,8	1,15	0,0013
1200	0,8	1,15	0,001
1400	0,8	1,3	0,001
2000	0,8	1,5	0,0009

Если в формулу Шези (4.2) подставить минимальную скорость, то можно получить минимальный уклон, при котором трубопровод самоочищается. В табл. 4.2 приведены минимальные уклоны, соответствующие минимальным скоростям. Для труб минимальных диаметров минимальные уклоны приведены в табл. 4.3. Первоначально они были получены на основании обобщения эксплуатационных данных.

Таблица 4.3

Минимальные диаметры и уклоны водоотводящей сети

Система водоотведения	Минимальный диаметр (d_{min}), мм		Минимальный уклон (i_{min})	
	внутриквартальной сети	уличной сети	внутриквартальной сети	уличной сети
Полная раздельная и полураздельная с сетями:				
бытовой	150	200	0,008 (0,007)	0,007 (0,005)
дождевой (водостоки)	200	250	0,007 (0,005)	–
Общесплавная	200	250	0,007 (0,005)	–

Примечание. В скобках указаны уклоны, которые допускается применять при обосновании.

Содержащиеся в сточных водах песок и другие минеральные примеси являются абразивными материалами, истирающими стенки трубопроводов в результате транспортирования жидкости. При этом интенсивность истирания пропорциональна скорости потока, движущегося в трубе. Поэтому на основании многолетнего опыта эксплуатации водоотводящих сетей установлены максимально допустимые скорости, равные 4 м/с для неметаллических труб и 8 м/с для металлических.

Для определения минимального уклона широко известна формула

$$i_{\min} = \alpha_i / d, \qquad (4.12)$$

где d — диаметр трубопровода, мм; α_i — коэффициент, равный:

d, мм	500	600–800	1000–1200	1400	1600	2000
α_i	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Расчет трубопроводов по формулам (4.1)–(4.4) или другим чрезвычайно сложен. Методы решения различных задач по расчету трубопроводов изложены в специальной литературе.

4.5. ТАБЛИЦЫ, ГРАФИКИ И НОМОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

При проектировании водоотводящих сетей требуется выполнять расчеты большого числа отдельных участков трубопроводов с различными условиями проектирования. Их расчет производит-

ся путем применения тех или иных упрощающих приемов, при которых используются разработанные таблицы, графики, номограммы, различные обобщенные параметры и др.

В настоящее время для расчета самотечных трубопроводов используют различные таблицы, к числу которых относятся таблицы А.А. Лукиных и Н.А. Лукиных (Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского. — М.: Стройиздат, 1987) и Н.Ф. Федорова и Л.Е. Волкова (Гидравлический расчет канализационных сетей. — Л.: Стройиздат, 1968). Первые составлены по формулам (4.1)–(4.4), вторые — по формулам (4.6) и (4.7).

В табл. 4.4 приведена краткая выдержка из первых таблиц для трубопровода диаметром 200 мм. Таблицы содержат значения расхода и скорости при различных наполнениях от 0,05 до 1,00 для всех возможных в инженерной практике диаметров и уклонов труб.

Таблица 4.4

Значения расхода сточных вод *q* и скорости их движения *v* в трубах *d* = 200 мм

Наполнение, доли d	*Значения q, л/с и v, м/с при уклоне, тысячные доли*					
	5		*6*		*7*	
	q	*v*	*q*	*v*	*q*	*v*
0,05	0,11	0.18	0,12	0,20	0,13	0,21
0,10	0,45	0,28	0,50	0,30	0,54	0,33
0,15	1,06	0,36	1,16	0,39	1,26	0,42
0,20	1,91	0,43	2,09	0,47	2,26	0,50
0,25	2,98	0,49	3,26	0,53	3,52	0,58
0,30	4,26	0,54	4,67	0,59	5,05	0,64
0,35	5,71	0,58	6,26	0,64	6,76	0,69
0,40	7,34	0,62	8,04	0,69	8,69	0,74
0,45	9,07	0,66	9,94	0,72	10,7	0,78
0,50	10,9	0,69	11,9	0,76	12,9	0,82
0,55	12,7	0,72	14,0	0,79	15,1	0,85
0,60	14,6	0,74	16,0	0,81	17,3	0,89
0,65	16,5	0,76	18,0	0,83	19,5	0,90
0,70	18,2	0,78	20,0	0,85	21,6	0,92
0,75	19,8	0,79	21,8	0,86	23,5	0,93
0,80	21,3	0,79	23,3	0,87	25,2	0,93
0,85	22,4	0,79	24,6	0,86	26,6	0,93
0,90	23,2	0,78	25,4	0,85	27,5	0,92
0,95	23,4	0,76	25,6	0,83	27,7	0,90
1,00	21,8	0,69	23,9	0,76	25,8	0,82

При проектировании водоотводящих сетей предварительно определяют расход. Уклон трубопровода принимают с учетом уклона поверхности земли и руководствуясь экономическими соображениями (минимальными объемами земляных работ и стоимости строительства). Расчет трубопроводов по описанным таблицам сводится к подбору диаметра трубопровода, обеспечивающего пропуск расхода при наполнении, соответствующем самоочищающей скорости.

Этот расчет прост и удобен. Однако для него требуются таблицы большого объема, которые издаются отдельными книгами. Они должны быть «под рукой» у каждого проектировщика. В то же время изданные таблицы не охватывают всех возможных в инженерной практике диаметров и уклонов трубопроводов и параметров их работы.

Аналогично ведется расчет по графикам и номограммам. Он требует кропотливой работы. В инженерной практике ими пользуются реже.

4.6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Расчет напорных трубопроводов заключается в определении диаметра и потерь напора. При полном заполнении сечения трубы $q = \omega v = v\pi d^2/4$, отсюда диаметр трубы

$$d = \sqrt{4q/v\pi}. \qquad (4.13)$$

Скорость движения воды в трубопроводах следует принимать такой, чтобы обеспечивался оптимальный режим работы системы насосы–трубопроводы (минимальные приведенные затраты). Эта скорость равна 1,5–2,5 м/с.

Потери напора находят по формуле Дарси, которая для напорного трубопровода имеет вид:

$$h = il = \lambda l v^2/d2g. \qquad (4.14)$$

Коэффициент λ может вычисляться по формуле Н.Ф. Федорова:

$$1/\sqrt{\lambda} = -2\lg(\Delta_э/3{,}4d + a_2/\mathrm{Re}). \qquad (4.15)$$

Потери напора также могут определяться по формулам (4.2) и (4.3) при полном заполнении трубы, т.е. при $h/d = 1$, или по таблицам гидравлического расчета сетей.

Важное значение при расчете напорных трубопроводов имеет правильный выбор коэффициентов шероховатости n, $\Delta_э$, a_2 и др.

Напорные трубопроводы систем водоотведения часто имеют небольшую длину. В этом случае местные потери напора в коммуникациях насосных станций оказываются соизмеримыми с потерями напора по длине труб и их следует учитывать особо. При приближенных и предварительных расчетах общие потери определяют по формуле

$$h = k_м il,$$

где $k_м$ — коэффициент, учитывающий местные потери напора (в долях от потерь по длине) и принимаемый равным 1,1–1,15.

Пересечения самотечных трубопроводов с реками, автомобильными и железными дорогами и другими инженерными сооружениями часто выполняются в виде дюкеров, которые представляют собой короткие трубы, огибающие препятствие снизу. Движение воды в дюкере происходит под напором, образующимся в результате разности уровней воды в его начале и конце.

Диаметр напорных ниток дюкеров определяют по формуле (4.13) при скорости более 1 м/с. Потери напора находят путем суммирования потерь напора по длине труб и местных потерь напора (метод наложения потерь напора):

$$h = il + \sum \varsigma v^2 / 2g.$$

Разность отметок лотков труб в начале и конце дюкера принимается равной потерям напора.

4.7. ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

Производственные сточные воды содержат разнообразные по размерам и удельному весу нерастворенные примеси. Их распределение по живому сечению труб и каналов зависит от скорости потока. При скорости потока более 0,8 м/с они распределяются относительно равномерно и находятся во взвешенном состоянии.

При расчете труб и каналов, транспортирующих сильноконцентрированные производственные сточные воды с высоким содержанием взвешенных веществ, необходимо учитывать транс-

портирующую способность потока. Она зависит от высоты наполнения h, м; скорости потока v, м/с; гидравлической крупности взвеси u, мм/с и определяется по формулам (4.16) и (4.17). Содержание фракций взвеси ($P_в$, г/л) крупнее 0,005 мм находят по формуле

$$P_в = (0{,}0535/h)(v/1{,}2uh^{0,2})^4(1 - 1{,}2uh^{0,2}/v). \quad (4.16)$$

Критическую скорость высококонцентрированных потоков (м/с) рассчитывают по формуле

$$v_{кр} = 8\sqrt[3]{D}\sqrt{C_0\Psi}, \quad (4.17)$$

где D — диаметр трубопровода; C_0 — отношение объема загрязнений к общему объему; Ψ — коэффициент транспортабельности.

В табл. 4.5 приводятся значения коэффициента транспортабельности при различных фракциях загрязнений.

Таблица 4.5

Значения коэффициента транспортабельности при различных фракциях загрязнений

Взвешенные вещества, мм	*0,05–0,1*	*0,1–0,25*	*0,25–0,5*	*0,5–1,0*	*1,0–2,0*	*2–3*
Ψ	0,02	0,20	0,40	0,80	1,2	1,5

На промышленных предприятиях применяют, как правило, полную раздельную систему водоотведения. В производственных водоотводящих сетях могут накапливаться различные газообразные продукты (метан, аммиак, сероводород, ацетилен, оксид углерода, пары нефтепродуктов и др.). При этом может создаться взрывоопасная ситуация, а также возрастает коррозионная активность сточных вод. Специальные вытяжные устройства предусматриваются в местах усиленного газовыделения из сточных вод: входные камеры дюкеров, смотровые колодцы, в которых скорости течения воды резко снижаются, перепадные колодцы при высоте перепада более 1 м и расходе сточной воды более 50 л/с, места присоединения к общезаводской водоотводящей сети цеховых стоков.

В особых случаях, когда естественная вытяжная вентиляция производственной водоотводящей сети не обеспечивает нормальные условия ее эксплуатации, применяют принудительную искусственную вентиляцию.

Для предотвращения проникновения ядовитых газов, огня при взрыве или горящих нефтепродуктов в производственные помещения устраивают гидравлические затворы.

Гидравлический затвор представляет собой дюкер, работающий под напором, который создается разностью отметок уровня воды в начале и конце сооружения. Глубина гидравлического затвора должна быть не менее 10 см.

Для отведения сильнощелочных или кислых производственных сточных вод применяют трубы из специальных сортов стали (18/10) и высококремнистого чугуна. Во всех случаях укладки стальных труб особое внимание необходимо уделять антикоррозионной защите. Стальные трубы соединяют путем сварки или с помощью фланцев.

Перспективным является применение пластмассовых труб.

Выбор материала труб для строительства водоотводящих сетей промышленных предприятий зависит от гидрогеологических условий и состава сточных вод.

Глава 5
УСТРОЙСТВО ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

5.1. ТРУБОПРОВОДЫ И КОЛЛЕКТОРЫ

Материалы, которые используются для изготовления труб, должны удовлетворять строительным, технологическим и экономическим требованиям. Строительные требования заключаются в обеспечении прочности и долговечности конструкций и возможности индустриализации строительства; технологические — в обеспечении водонепроницаемости и максимальной пропускной способности труб, а также исключении их истирания и коррозии; экономические — в обеспечении минимальной стоимости материалов и расходовании минимального количества дефицитных материалов. В конкретных условиях проектирования могут предъявляться и другие требования.

Изложенным требованиям удовлетворяют керамические, асбестоцементные, бетонные, железобетонные, чугунные и пластмассовые трубы.

Трубы керамические канализационные для устройства безнапорных сетей выпускаются по ГОСТ 286-82 диаметром 150–300 мм (рис. 5.1). Они изготовляются из пластичных спекающихся тугоплавких огнеупорных глин с добавлением шамота (обожженной глины в порошкообразном состоянии) путем обжигания при температуре 1250–1350 °С. Покрытие их глазурью обеспечивает во-

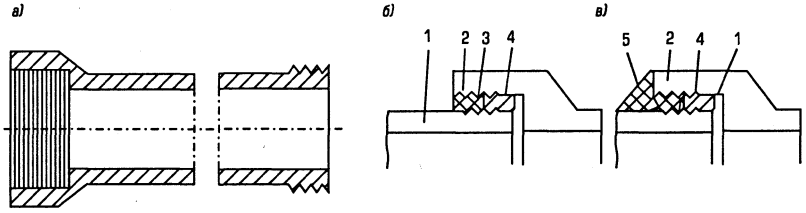


Рис. 5.1. Керамическая труба:
а — общий вид; *б* — стык с асфальтовым замком; *в* — стык с асбестоцементным замком; 1 — гладкий конец; 2 — раструб; 3 — асфальтовая мастика; 4 — смоляная прядь; 5 — асбестоцемент

донепроницаемость и гладкость (уменьшение шероховатости труб).

Соединение керамических труб выполняется введением гладкого конца одной трубы в раструб другой с последующей заделкой стыка, состоящей из герметизирующей части (смоляной пряди) и замка (асфальтовая мастика, асбестоцементный или цементный раствор).

Железобетонные безнапорные трубы изготовляются по ГОСТ 6482-88 диаметром 400–3500 мм. Они подразделяются на раструбные и фальцевые (рис. 5.2) и могут быть круглые и круглые с плоской подошвой. В зависимости от прочности трубы бывают нормальной и повышенной прочности. Герметизация стыков осуществляется смоляной прядью, специальными полисульфидными герметиками 51-УТ-37А и КБ-1 (ГС-1) или резиновыми кольцами. Замок стыка выполняется из асбестоцементного или цементного раствора или асфальтовой мастики.

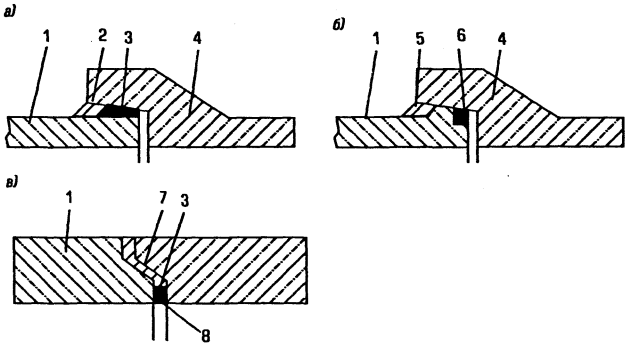


Рис. 5.2. Стыки железобетонных труб:
а и *б* — раструбные; *в* — фальцевые; 1 — гладкий конец трубы;
2 — асбестоцемент; 3 — смоляная прядь; 4 — раструб; 5 — цементный раствор;
6 — резиновые кольца; 7 — цементный раствор или асфальтовая мастика;
8 — затирка цементным раствором

Асбестоцементные трубы (безнапорные) изготавливаются по ГОСТ 1839-80 диаметром 100–400 мм. Соединение их осуществляется с помощью муфт.

Чугунные напорные (ГОСТ 9583-75*) и **безнапорные** (ГОСТ 6942.3-80) **трубы** с раструбным соединением диаметром 50-400 мм достаточно широко используют для прокладки канализационных сетей. Также находят применение трубы стальные электросварные

с внутренним цементно-песчаным покрытием по ТУ 14-154-23-90 и внешним противокоррозийным покрытием из полиэтилена «Антикорекс» по ТУ 400-24-559-88.

Пластмассовые трубы. Для производства пластмассовых труб наиболее широко используют следующие термопластики: поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП). Трубы из поливинилхлорида относительно более дешевые по сравнению с трубами из полиэтилена и полипропилена. Все указанные трубы используют для транспортировки сточных вод с температурой до +45°С. Пластмассовые трубы выпускаются напорные и безнапорные, гладкие и гофрированные. Соединения пластмассовых труб осуществляются посредством муфт или раструбов с уплотнительными резиновыми кольцами (рис. 5.3). Для напорных и самотечных трубопроводов большого диаметра применяют стекловолокнистый полистирол на основе термореактивных пластиков, лучше воспринимающих механические нагрузки.

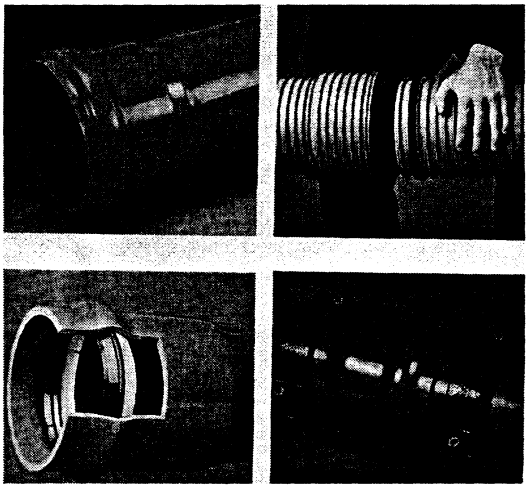


Рис. 5.3. Соединения пластмассовых труб

Стальные трубы напорные бесшовные (ГОСТ 8732-78) изготавливаются наружным диаметром 152–465 мм, **электросварные** (ГОСТ 10706-76) — наружным диаметром 530–1220 мм.

Трубопроводы больших диаметров (круглые, некруглые), которые часто называют коллекторами, выполняются из сборного железобетона. Конструкция их в основном зависит от способа производства работ, глубины заложения трубопровода, геологи-

ческих и гидрогеологических условий строительства. На рис. 5.4 представлены варианты коллекторов, сооружаемых при закрытом (щитовом) способе.

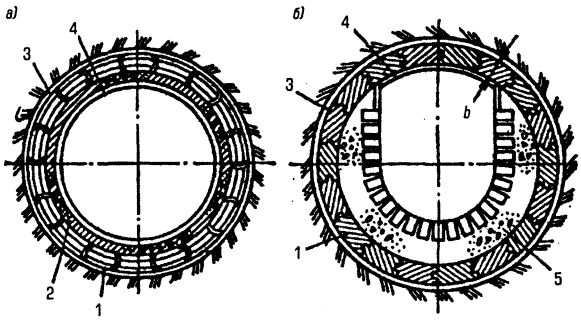


Рис. 5.4. Коллекторы, выполняемые при закрытом способе строительства: *а* — круглой формы; *б* — полукруглой формы с облицовкой кирпичом; 1 — керамические или бетонные блоки; 2 — железобетонная рубашка; 3 — цементный раствор, нагнетаемый за блоки; 4 — штукатурка с железнением поверхности; 5 — бетон

В табл. 5.1 приведены протяженность канализационной сети г. Москвы с указанием материалов труб и их процентное соотношение к общей длине сети.

Таблица 5.1

Протяженность канализационной сети Москвы на 2001 г.

Трубы	*Протяженность сети*	
	%	*км*
Керамические	38,4	2504,8
Асбестоцементные	21,2	1380.8
Чугунные	18,1	1182,1
Железобетонные	15,9	1040,5
Пластмассовые	3,8	247,5
Стальные	1,5	96,8
Кирпичные	1,1	72,4

Трубопроводы в песчаных и глинистых грунтах с нормальным сопротивлением, равным или бóльшим 0,15 МПа, могут укладываться на естественное основание. Однако под трубопроводы диаметром 350–600 мм основание следует профилировать по форме трубы с углом охвата 90° (рис. 5.5, *а*). При глубине засыпки (до верха трубы) 3,5 м и более — для трубопроводов диаметром 350 мм

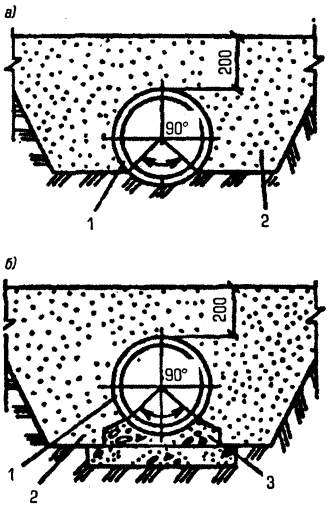


Рис. 5.5. Основания под трубы:
а — естественное профилирование; *б* — монолитное бетонное;
1 — труба; 2 — песчаный грунт; 3 — бетонный стул

и для трубопроводов диаметром 600 мм при глубине более 1,5 м, засыпку на глубину 0,2 м над верхом трубы рекомендуется выполнять песчаным грунтом с уплотнением. В глинистых грунтах укладка труб должна производиться на песчаную подушку.

Если грунт основания имеет нормальное сопротивление 0,1–0,15 МПа, то керамические и асбестоцементные трубопроводы следует укладывать на монолитное бетонное основание, спрофилированное по форме трубы с углом охвата 90° (рис. 5.5, *б*). Под железобетонные трубопроводы также требуется устройство оснований с учетом несущей способности грунтов и других факторов.

Основания специальных конструкций выполняются на слабых (торф, свалочные и илистые), водонасыщенных и скальных грунтах.

Защита бетонных и железобетонных труб, коллекторов и сооружений может осуществляться одним из следующих способов: применением специальных цементов, не подвергающихся коррозии; увеличением плотности и водонепроницаемости стенок труб и конструкций; покрытием бетонных поверхностей гидроизоляцией.

Для изготовления бетонов рекомендуется применять пуццолановый, сульфатостойкий и другие цементы с гидравлическими добавками. Плотность бетонных стенок труб достигается за счет использования жестких бетонных смесей (с малым водоцементным отношением) и тщательного их уплотнения (трамбования, вибрирования, вакуумирования и центрифугирования).

Гидроизоляция труб и сооружений выполняется со стороны действия воды или газа. Гидроизоляция бетонных поверхностей подразделяется на жесткую (цементная штукатурка с железнением, торкрет-штукатурка, облицовка керамическими или пластмассовыми плитами и др.) и битумную. Битумная изоляция подразделяется на обмазочную, пластичную и оклеечную. Пластичная гидроизоляция выполняется из мастик, в состав которых входит 40% битума и 60% заполнителей (молотый мел, мелкий песок и др.). Оклеечная гидроизоляция выполняется из рулонных материалов (рубероид, пергамин и др.), наклеиваемых с помощью битумов и мастик на изолируемые поверхности.

5.2. КОЛОДЦЫ И КАМЕРЫ

Колодцы и камеры водоотводящей сети располагают в местах изменения диаметров и уклонов трубопроводов, изменения направления их в плане и устройства присоединений к ним боковых веток, а также на прямолинейных участках труб через 35–300 м (с увеличением диаметра труб расстояние между колодцами увеличивается).

Смотровые колодцы подразделяются на поворотные, узловые и линейные. Они служат для обеспечения доступа к трубопроводам, осмотра и наблюдения за ними и выполнения эксплуатационных операций на водоотводящих сетях.

Смотровые колодцы состоят из следующих основных элементов: рабочей камеры; горловины и переходной части между ними; основания и люка с крышкой над горловиной (рис. 5.6). В плане колодцы могут быть круглые, прямоугольные и полигональные.

Важнейший элемент колодца — основание. Оно должно обеспечивать устойчивость сооружения. В его конструкцию входит бетонный набивной лоток, обеспечивающий транспорт воды через колодец (от трубы к трубе).

Лоток в нижней части имеет форму полукруга, а в верхней — вертикальные стенки (рис. 5.7). Общая высота лотка должна рав-

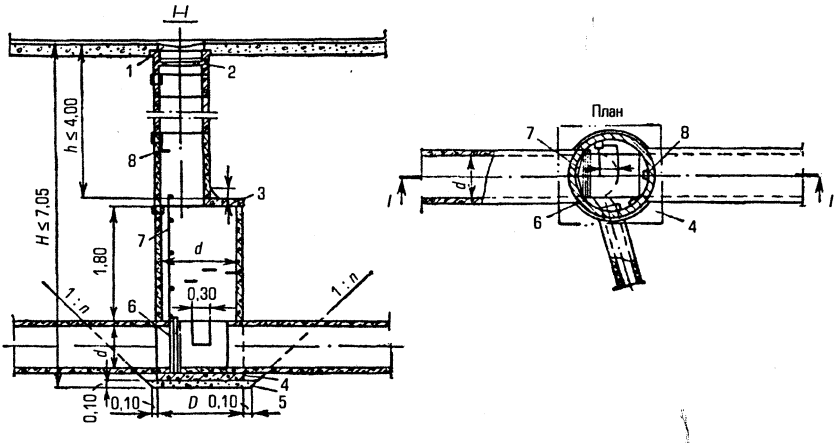


Рис. 5.6. Смотровой колодец:
1 — люк с крышкой; 2 — крышка; 3 — плита; 4 — основание; 5 — подготовка; 6 — направляющие для установки шибера; 7 — лестница; 8 — подвесная скоба

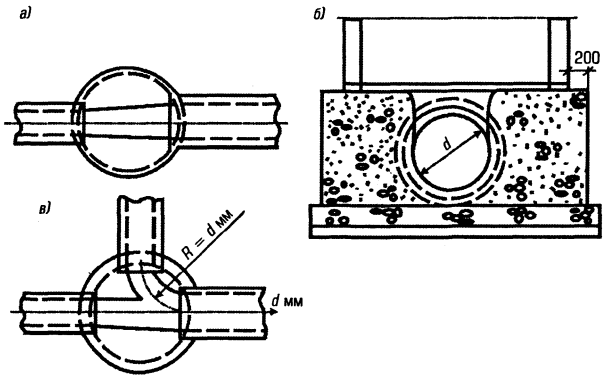


Рис. 5.7. Лотки смотровых колодцев:
а — план лотка колодца при увеличении диаметра трубопровода; *б* — план узлового колодца; *в* — сечение линейного лотка.

няться диаметру труб. С двух сторон лотка создаются полки, имеющие ширину не менее 200 мм и уклон к лотку не менее 0,02. Лотки поворотных колодцев и боковых присоединений следует выполнять по дугам окружностей с радиусом не менее одного диаметра.

Рабочая камера должна иметь следующие минимальные размеры: высоту — 1,8 м, диаметр — 1,0 м. Камеры узловых колодцев на трубопроводах больших диаметров целесообразно выполнять в

плане полигональными с расположением стенок параллельно лоткам.

Минимальный диаметр горловины — 0,7 м. Рабочие камеры и горловины оборудуют скобами или лестницами для спуска в колодец и подъема из него. На уровне поверхности земли на горловины устанавливают люки с крышками, которые, как правило, выполняются чугунными.

На трубопроводах диаметром 1200 мм и более кривую поворота трубы следует принимать радиусом, равным не менее пяти диаметров трубы, и предусматривать колодцы в начале и конце кривой поворота.

На коллекторах, строительство которых осуществляют закрытым способом (щитовой метод), необходимо устраивать смотровые шахты или скважины диаметром не менее 0,9 м. Расстояние между ними не должно превышать 500 м.

Стенки рабочих камер и горловин смотровых колодцев могут выполняться из бетона или железобетона монолитными или сборными, а также из кирпича на цементном растворе. Бетонные лотки оснований обычно устраиваются монолитными из бетона марки 200 по специальным шаблонам — опалубкам с последующей затиркой цементным раствором и железнением.

Особое значение следует придавать заделке труб в лотковой части. На рис. 5.8 показаны примеры ее конструктивного решения. При наличии грунтовых вод необходимо предусматривать гидроизоляцию дна и стенок колодцев на высоту, превышающую на 0,5 м уровень грунтовых вод. При этом можно применять обмазочную и оклеечную битумную гидроизоляцию.

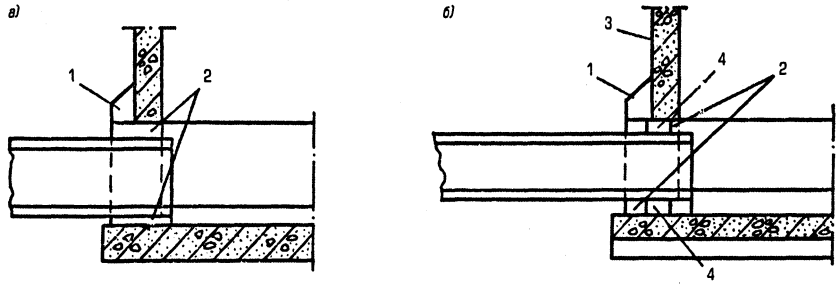


Рис. 5.8. Схемы заделки труб:
а и *б* — в непросадочных грунтах соответственно сухих и мокрых;
1 — цементный раствор; 2 — асбестоцементный раствор; 3 — гидроизоляция;
4 — смоляная прядь

Проектными институтами разработаны типовые проекты смотровых колодцев для различных геологических, гидрогеологических и климатических условий.

Особое значение имеет обеспечение долговечности верхней части колодцев (горловины и люков) в условиях чрезвычайно высокой интенсивности автомобильного движения в современных городах.

В зарубежной практике в последнее время широко применяют колодцы из гофрированных пластмассовых труб, способных деформироваться без разрушения под воздействием автотранспорта (рис. 5.9).

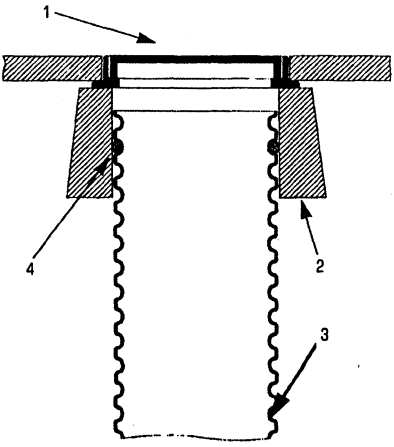


Рис. 5.9. Колодец из гофрированных пластмассовых труб:
1 — люк; 2 — коническая бетонная горловина; 3 — гофрированная труба;
4 — резиновое кольцо

В отечественной практике используют железобетонные унифицированные опорные плиты для канализационных, водопроводных и газопроводных колодцев.

Данная опорная плита изготовлена с использованием пластифицированных добавок, повышающих ударную прочность и морозостойкость бетона. Ее применение позволяет существенно повысить срок службы колодцев в условиях интенсивного движения автотранспорта и частых солевых противогололедных обработок дорожного покрытия в зимний период.

Сопряжение труб, уложенных на различной глубине, осуществляется с помощью **перепадных колодцев**. Необходимость применения их возникает в следующих случаях:

- при присоединении боковых веток к коллекторам или внутриквартальных сетей к уличным трубопроводам;
- при пересечении трубопроводов с инженерными сооружениями и естественными препятствиями;
- при устройстве затопленных выпусков воды в водоемы;
- при больших уклонах поверхности земли для исключения превышения максимально допустимой скорости движения сточных вод.

По высоте перепадов перепадные колодцы подразделяют на перепадные колодцы малой (до 6 м) и большой высоты.

Перепадные колодцы всех конструкций могут быть подразделены на три типа:

- шахтного типа (с перепадами и без них);
- выполняемые по типу известных сопрягающих сооружений, применяемых в гидротехнической практике (быстротоки, водослив практического профиля и др.);
- колодцы, гашение энергии в которых основано на соударении струй воды со стенкой сооружения или специальной решеткой, а также на соударении струй воды, образующихся в результате разделения потока, в основании колодца.

Перепадной колодец шахтного типа малой высоты представляет собой камеру, форма которой аналогична форме смотрового колодца, к которой пристроена или встроена гладкая (без ступеней) шахта (стояк) круглого или прямоугольного сечения (рис. 5.10).

Он применяется на трубопроводах диаметром до 500 мм. Высота не должна превышать 6 м. Сечение стояка не должно быть менее сечения подводящего трубопровода. Над стояком желательно выполнять приемную воронку в виде колена или иной формы, а в основании — водобойный приямок. Наличие воды в приямке обеспечивает смягчение удара потока в основание. В целях повышения устойчивости сооружения основание усиливается стальной или чугунной плитой под стояком.

При устройстве стояка из труб до 300 мм допускается установка направляющего колена в его нижней части.

Перепадные колодцы рекомендуется выполнять из монолитного или сборного железобетона. Скорость движения воды в стояках достигает больших значений, поэтому требуется высокая прочность исполнения основания, стенок и стояка колодцев.

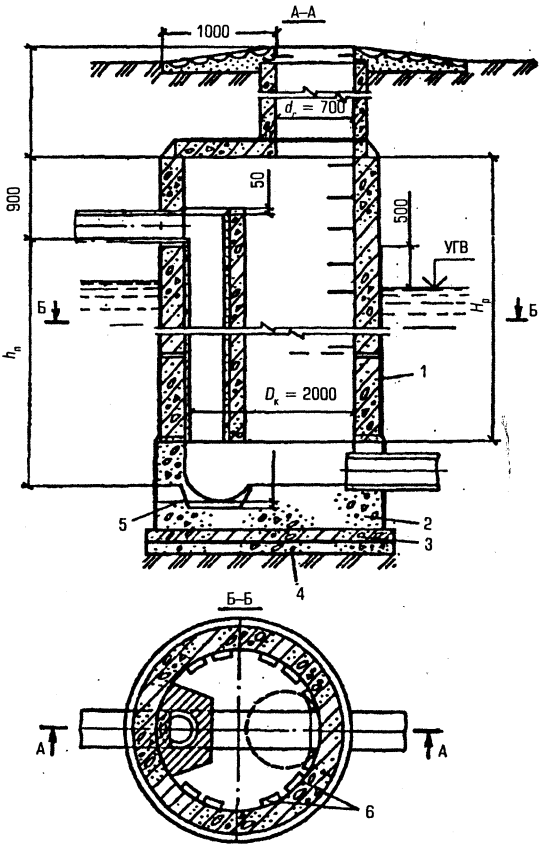


Рис. 5.10. Перепадной колодец шахтного типа:
1 — изоляция битумом; 2 — бетон марки М150 с затиркой поверхности; 3 — плита основания; 4 — бетон марки М100 по утрамбованному щебнем грунту; 5 — стальная плита; 6 — упорные скобы, заложенные в швы между железобетонными кольцами

Перепадной колодец шахтного типа с многоступенчатыми перепадами также имеет в своем составе шахту, но она перегорожена ступенями, чередующимися по всей высоте в шахматном порядке (рис. 5.11). Для повышения надежности сооружения целесообразно делать две шахты. Устройство водобойного колодца в основании не требуется. Соотношение геометрических размеров рекомендуется следующее: $z = (0{,}5–2)B$ или $z = (0{,}5–2)d$ (при круглом сечении шахты); $a = B/2$.

Расчет перепадного колодца следует выполнять исходя из возможности пропуска всего расхода по одной шахте, но при условии

предельной нагрузки ее (максимальном напоре, равном z). Размер отверстия между ступенями и стенками, площадь сечения которого равна $\omega = aB$, может быть определен по формуле истечения жидкости из отверстия:

$$q = \mu\omega\sqrt{2gz}, \qquad (5.1)$$

где μ — коэффициент расхода, равный $\mu = \varphi\varepsilon$, здесь φ — коэффициент скорости, равный 0,89; ε — коэффициент сжатия струи, определяемый по формуле А.Д. Альтшуля:

$$\varepsilon = 0{,}57 + 0{,}043/(1{,}1 - \Pi), \qquad (5.2)$$

где $\Pi = a/B$ — степень сжатия струи.

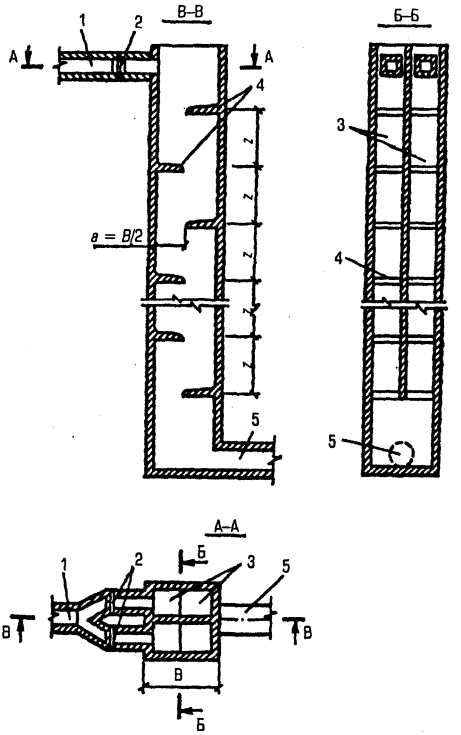


Рис. 5.11. Двухсекционный перепадной колодец шахтного типа с многоступенчатыми перепадами:
1 — подводящий коллектор; 2 — шиберы; 3 — секции перепадного колодца; 4 — ступени перепада; 5 — отводящий коллектор

Разделительные камеры устраиваются при полной раздельной и полураздельной системах водоотведения. Места расположения и назначения их различны. При полной раздельной системе разделительные камеры устраиваются:

- на дождевой сети в отдельных местах отводного коллектора или перед очистными сооружениями для сброса части дождевых вод при интенсивных дождях в водоем;
- на сооружениях для самостоятельной очистки дождевых сточных вод при необходимости разной степени их очистки.

При полураздельной системе водоотведения разделительные камеры устраиваются:

- на дождевой сети перед присоединениями ее к общесплавным коллекторам для сброса части дождевых вод при интенсивных дождях в водоем;
- перед очистными сооружениями для временного сброса части бытовых, производственных и дождевых сточных вод (при больших расходах последних) в регулирующие резервуары для последующей подачи на очистные сооружения.

Принципы работы и конструкции ливнеспусков и разделительных камер аналогичны (в последующем под термином «ливнеспуск» будут подразумеваться ливнеспуск и разделительная камера).

Основные требования, предъявляемые к ливнеспускам, заключаются в следующем:

1) отвод без сброса наиболее загрязненной части поступающих к ливнеспуску сточных вод;

2) малая засоряемость сбросных и водоотводящих устройств.

Наиболее распространены разделительные камеры с боковым прямолинейным водосливом с односторонним сбросом; они состоят из лотка, одна сторона которого является водосливом.

Целесообразно гребень водослива выполнять металлическим и подвижным в вертикальных направляющих. Это позволит изменять высоту гребня водослива при наладке работы сооружений.

Разделительная камера с боковыми прямолинейными водосливами с двусторонним сбросом состоит из лотка, обе стороны которого являются водосливами.

На рис. 5.12 показана разделительная камера с боковым криволинейным водосливом (центральный угол $\alpha = 90°$), она состоит из криволинейного лотка, внешняя сторона которого является водосливом.

Ливнеотвод (сбросной трубопровод) следует проектировать на полное заполнение с некоторым запасом. Шелыга ливнеотвода

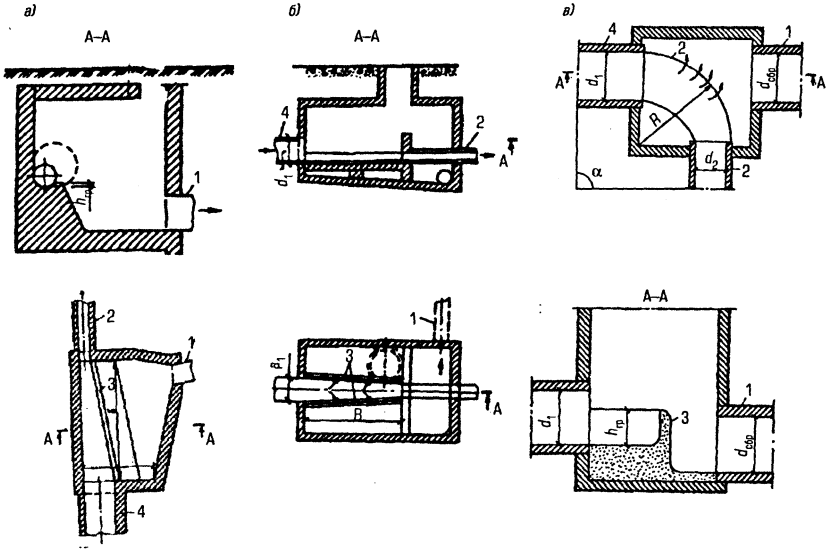


Рис. 5.12. Разделительная камера:
а — с боковым прямолинейным водосливом с односторонним сбросом;
б–с боковыми прямолинейными водосливами с двусторонним сбросом;
в–с боковым криволинейным водосливом; 1 — ливнеотвод; 2 — отводящий трубопровод; 3 — гребень водослива; 4 — подводящий трубопровод

(сбросного трубопровода) и гребень водослива должны находиться на одной отметке.

5.3. ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ С РЕКАМИ, ОВРАГАМИ, ЖЕЛЕЗНЫМИ И АВТОМОБИЛЬНЫМИ ДОРОГАМИ

Самотечные трубопроводы часто пересекаются с различными естественными и искусственными препятствиями. К естественным препятствиям относятся ручьи, реки, овраги и т.п.; к искусственным — автомобильные и железные дороги, подземные коллекторы, трубопроводы различного назначения, кабели, пешеходные переходы, линии метрополитена и другие сооружения.

Конструкция пересечения зависит от взаимного высотного расположения (разности отметок) трубопровода и препятствия.

Если трубопровод непосредственно пересекается с препятствием, т.е. трубопровод и препятствие расположены на одной и

той же отметке или разность их незначительна, то пересечение выполняется в виде дюкера — напорного трубопровода, соединяющего два самотечных трубопровода. На рис. 5.13 показана схема дюкера через реку.

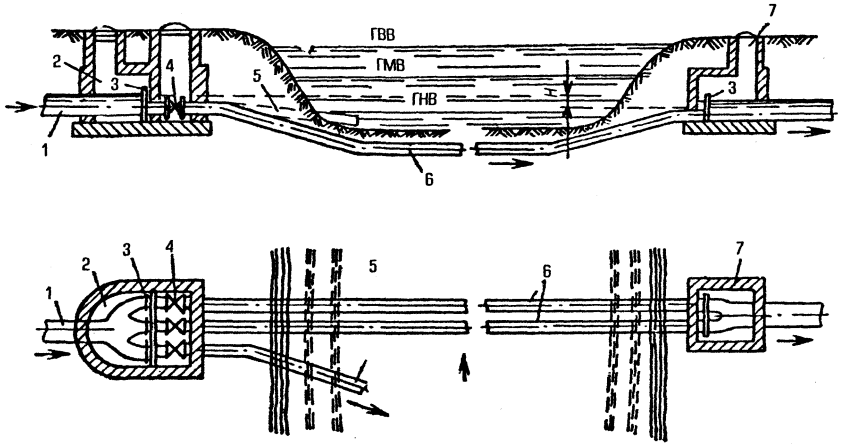


Рис. 5.13. Схема дюкера через реку:
1 — коллектор; 2 — входная камера; 3 — направляющие для установки шибера; 4 — задвижка; 5 — аварийный выпуск; 6 — напорные трубы; 7 — выходная камера

Дюкер состоит из следующих основных элементов: напорных трубопроводов, верхней и нижней камер. Напорные трубопроводы дюкера выполняются не менее чем из двух ниток стальных труб с усиленной антикоррозионной изоляцией. Диаметр их должен быть не менее 150 мм. Обе нитки должны быть рабочими. Лишь при небольших расходах допускается устройство дюкера с одной рабочей и одной резервной трубой.

Все линии дюкера принимают рабочими и рассчитывают на пропуск расхода:

$$q_1 = q_р/n, \tag{5.3}$$

где $q_р$ — расчетный расход через дюкер; n — число рабочих линий.

Диаметр труб определяют исходя из условия обеспечения самоочищающих скоростей $v > 1$ м/с по формуле

$$d = \sqrt{4q_1/\pi v}. \tag{5.4}$$

Вода в трубах дюкера движется с заданной скоростью в результате наличия перепада уровней воды Δh в верхней и нижней камерах, который принимается равным потерям напора в дюкере и вычисляется по формуле

$$\Delta h = h_l + h_м = il + \sum \xi_i (v_р^2 / 2g), \tag{5.5}$$

где $h_l = il$ — потери напора по длине трубы; $h_м$ — потери напора в местных сопротивлениях; i — гидравлический уклон (потери напора на единицу длины трубы); l — длина трубопроводов дюкера; $v_р$ — скорость движения воды в трубах при расчетных условиях; g — ускорение свободного падения.

Сумма коэффициентов

$$\sum \xi_i = \xi_{вх} + \xi_{задв} + m\xi_{отв} + \xi_{вых}, \tag{5.6}$$

где $\xi_{вх}$, $\xi_{задв}$, $\xi_{отв}$, $\xi_{вых}$ — коэффициенты местных сопротивлений соответственно на входе, в задвижке, в отводах и на выходе; m — число отводов.

Дюкер является коротким трубопроводом, в котором потери напора в местных сопротивлениях соизмеримы с потерями напора по длине труб, поэтому при определении потерь напора учитывают и местные сопротивления.

Дюкеры могут устраиваться и при пересечении самотечного трубопровода с автомобильными и железными дорогами, если они проходят в выемках. В этом случае трубопроводы прокладывают в футлярах (металлических или железобетонных) или осуществляется их бетонирование. В остальном дюкеры под железными и автомобильными дорогами проектируются аналогично проектированию дюкеров через реки.

Если трубопроводы располагаются ниже препятствия, то пересечение выполняется в виде самотечного трубопровода из усиленных стальных или железобетонных труб, уложенных в футляре, непроходных или проходных тоннелях. Глубина заложения трубы, футляра или тоннеля должна быть не менее 1 м при открытом способе производства работ и не менее 1,5 м при закрытом. Длину футляра определяют исходя из размеров препятствия. Поперечные размеры футляра и тоннеля зависят от способов производства работ и размеров трубопровода.

Кожухи и тоннели предназначены для предохранения рабочего трубопровода от нагрузок, возникающих при движении транспорта над ним. Одновременно кожух предохраняет дорогу от разрушения в случае аварии трубопровода. **Футляры** должны устраи-

ваться с противокоррозионной изоляцией (торкрет-бетонное армированное, битумно-резиновые, полимерные покрытия) и защитой от электрохимической коррозии (катодная поляризация с протекторными установками). Пространство между стенками футляра и трубопровода надлежит заполнять бетоном. Перед и после пересечения желательно устройство смотровых колодцев с отключающими устройствами.

Футляры при бестраншейной проходке прокладывают прокалыванием, продавливанием или методом горизонтального бурения. Самотечные коллекторы большого поперечного сечения прокладывают под препятствием в тоннелях, которые сооружают способом щитовой или штольной проходки.

Эстакада устраивается, если трубопровод располагается значительно выше препятствия (при пересечении оврагов, суходолов); в этом случае пересечение выполняется в виде самотечного трубопровода, уложенного по эстакаде или существующему мосту в утепленном коробе.

Имеется зарубежный опыт прокладки дюкеров из пластмассовых труб. Для этих целей обычно применяют полиэтиленовые трубы. При прокладке подводных линий используются большая гибкость труб из полиэтилена, возможность их сварки в плети большой длины. Принцип прокладки подводного трубопровода состоит в том, что один его конец герметизируется заглушкой, а трубопровод, наполненный воздухом, плавает на поверхности воды. У берега на трубопроводе закрепляются анкерные грузы, и пригруженный таким образом трубопровод буксируется к месту его запланированной укладки, после чего он заполняется водой.

Перед погружением трубопровода его трасса должна быть размечена посредством буев. Полиэтиленовые трубы сваривают в плети длиной 250–1000 м, соединяемые затем с помощью фланцев. Погружаемая часть может состоять из одной или нескольких соединенных плетей. Операция погружения начинается путем открытия клапана на одном конце трубопровода и впуска в него воды. Вентильным устройством на другом конце трубопровода регулируют выход из него воздуха. Регулируя выход воздуха из трубопровода, контролируют скорость его погружения (обычно 0,2–0,6 м/с). В процессе всей операции погружения проверяют соответствие положения трубопровода заданной трассе.

Полиэтиленовый трубопровод достаточно гибкий, и обычно он принимает форму профиля дна, поэтому подготовку дна практически не производят.

При проектировании подводных трубопроводов следует учитывать профиль дна водоема, характерные уровни воды, максимальную толщину льда, силу воздействия волн и течений, а также предусмотреть возможность повреждения трубопровода якорными устройствами и др.

Чтобы предотвратить осаждение взвешенных веществ и образование газов в подводных напорных канализационных трубопроводах (что может привести к всплытию трубопровода), скорость воды в них должна поддерживаться достаточно высокой (не менее 1 м/с).

5.4. МЕТОДЫ ПРОКЛАДКИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

В период строительства новых и развития старых городов и мегаполисов их подземная инфраструктура, в том числе и водоотводящие сети, строилась в основном открытым способом, при котором трубопроводы прокладывались на требуемых отметках в открытых траншеях с их последующей засыпкой вынутым грунтом. В последнее десятилетие рост протяженности водоотводящих сетей замедлился, что связано с переходом от экстенсивного периода развития городов к их более плотной и многоэтажной застройке, хорошо заметной на примере Москвы.

В этих условиях основной задачей становится не строительство новых водоотводящих линий, а обеспечение надежной эксплуатации уже существующих подземных коммуникаций, что неизбежно связано с заменой, перекладкой и реконструкцией отслуживших свой нормативный срок аварийных участков сетей.

Основными бестраншейными методами прокладки и реконструкции подземных трубопроводов являются:

- щитовая проходка;
- микротоннелирование;
- горизонтальное направленное бурение;
- прокалывание, пробивка и продавливание;
- раскатывание.

Щитовая проходка представляет собой закрытый способ прокладывания тоннелей механизированными щитами диаметром

1,5–3,6 м с последующей укладкой в тоннелях труб требуемого диаметра и забутовкой свободного пространства. При проходке щитов в водонасыщенных и слабоустойчивых грунтах требуется проводить дорогостоящие операции по водопонижению, замораживанию или химическому закреплению. В застроенных городских районах производство щитовой проходки неизбежно связано с необходимостью ограничения движения транспорта.

Микротоннелирование осуществляют с помощью дистанционно управляемых комплексов, позволяющих осуществлять 10–15 м проходки в сутки практически во всех горно-геологических условиях, в том числе водонасыщенных грунтах без водопонижения или закрепления грунтов. На рис. 5.14 приведен общий вид микрощитов. Фирма «Херренкнехт АГ» выпускает щиты для технологии микротоннелирования диаметром от 150 мм до 14,2 м, при использовании которых устраняется ручной труд в забое, механизируется процесс прокладки труб и все управление технологическим процессом осуществляет с централизованного пульта машинист. Допустимый зазор между прокладываемым трубопроводом и расположенными в земле коммуникациями при этом методе составляет не менее 1 м, отклонения от проектных отметок не превышают 10–20 мм.

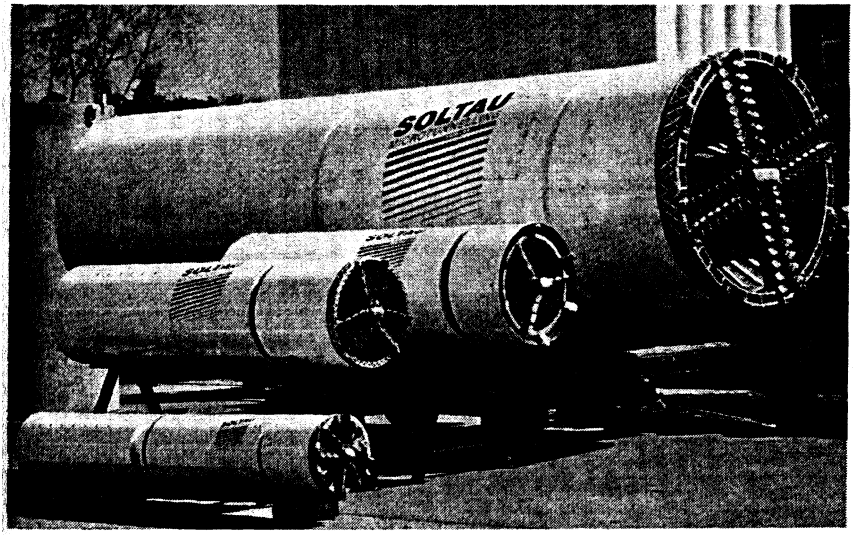


Рис. 5.14. Микрощиты фирмы «Херренкнехт АГ»

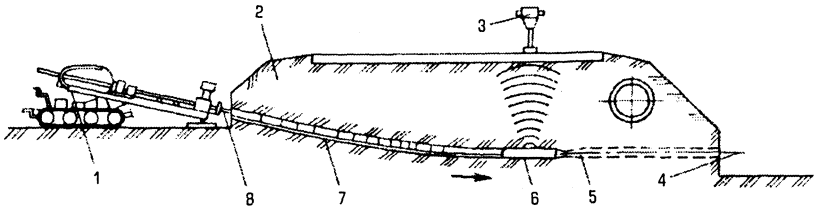


Рис. 5.15. Схема направленного бурения гидроразмывом:
1 — установка направленного бурения; 2 — земляное сооружение;
3 — радиолокатор; 4 — проектная ось коммуникаций; 5 — струя жидкости;
6 — буровая головка; 7 — лидерная скважина; 8 — штанга

Горизонтальное направленное бурение при прокладке труб до 150 мм ведется с использованием раствора на основе бентонита или полимеров (рис. 5.15). Трубы большего диаметра прокладываются с помощью установок горизонтального шнекового бурения. Малые установки шнекового бурения с тяговым усилием 4 т позволяют прокладывать трубы диаметром до 300 мм и длиной до 50 м. Установки с тяговым усилием 30 т используют для прокладки труб диаметром до 500 мм на расстояние до 400 м.

Прокалывание и пробивка заключаются в проходке горизонтальных скважин и затягивании в них труб (диаметром до 400 мм) с помощью пневмопробойников. Пневмопробойники имеют обтекаемый корпус, в котором размещены ударник и воздухораспределительный механизм, обеспечивающий как прямой, так и обратный ход пробойника. Проход пробойников происходит с достаточно высокой скоростью, их эксплуатация весьма проста.

Продавливание осуществляют путем забивки в грунт стальных трубопроводов диаметром 400–1400 мм с помощью пневмоударных машин.

Раскатывание используют для проходки и расширения существующих скважин за счет специальной раскатывающей головки, приводимой в движение буровым станком через наращиваемые буровые штанги. При вращении головки грунт вдавливается в стенки скважины и образуется устойчивая цилиндрическая полость, в которую затем при реверсе раскатчика затаскивается трубопровод. Соответствие оси раскатчика оси проектируемого трубопровода контролируют лазерной системой наведения.

Разработанные методы закрытой прокладки используют не только при строительстве новых трубопроводов, но и замене старых, аварийных участков сетей на новые. В России разработаны и серийно применяются пневмомолоты (табл. 5.2), которые используются вместе с расширителями (табл. 5.3) для разрушения подлежащего замене старого трубопровода.

Оборудование размещается в существующих колодцах и не требует устройства дополнительных шахт или котлованов.

Таблица 5.2

Технические характеристики серийных пневмомолотов

Параметр	*Модель молота*			
	ЛГМ-125	*ЛГМ-170К*	*МПС-62Б*	*МПС-65*
Наружный диаметр корпуса, мм	129	170	185	240
Энергия удара, Дж	120+10	300+ 25	450 +30	550+ 50
Частота ударов, $с^{-1}$	7,5+0,25	9,0+ 0,3	6,0 +0,3	7,5 +0,4
Расход сжатого воздуха, м/мин	3,0+ 0,25	7.5 +0,5	8,0 +0,5	14,0 +0,7
Длина, мм	1055	910	1080	995
Масса, кг	63	90	135	220

Таблица 5.3

Технические характеристики расширителей

Параметр	*Модель расширителя*				
	МПС-59	*МПС-70*	*МПС-18*	*МПС-76*	*МПС-71*
Наружный диаметр расширительной втулки, мм	210	265	262	360	360
Внутренний диаметр заменяемого трубопровода, мм	150	200–250	150–200	200–250	200–300
Прокладываемая труба	160-С	225-С	225-С	280-С	315-С

Пневмомолоты сконструированы по беззолотниковой схеме, обеспечивающей устойчивую работу, надежный запуск, одновременно позволяющей сделать машину достаточно простой по конструкции и относительно дешевой при промышленном изготовлении. Все машины рассчитаны на рабочее давление сжатого воздуха 0,6 МПа, но устойчиво работают и при падении давления до 0,35–0,40 МПа.

Важным составляющим элементом рабочего оборудования является конус-расширитель. Он состоит из 3 элементов: расширительной втулки, которая насаживается на коническую головную часть корпуса пневмомолота; удлинителя, шарнирно прикреплен-

ного к передней части пневмомолота и к тяговому тросу лебедки; конической втулки с ребрами-ножами, свободно посаженной на удлинитель и опирающейся задней частью в переднюю торцовую поверхность расширительной втулки. Удары пневмомолота через коническую поверхность корпуса передаются на расширительную втулку, а от нее через переднюю торцевую поверхность к конической втулке, которая разрушает старый трубопровод. Натяжение тягового троса обеспечивает надежный силовой контакт между всеми элементами рабочего оборудования. К расширительной втулке крепится первая секция заменяющей пластмассовой трубы.

Помимо рабочего органа в комплект оборудования для бестраншейной замены канализационных трубопроводов входят тяговая лебедка и отклоняющий анкер.

В МГП «Мосводоканал» разработаны и успешно применяются технологии восстановления канализационных трубопроводов диаметром от 150 до 500 мм и от 500 до 1000 мм полимерным рукавом. Современная технология бестраншейного ремонта подземных безнапорных трубопроводов диаметром до 500 мм успешно применяется дочерним государственным унитарным предприятием (ДГУП) «Сант».

Технология позволяет в сжатые сроки восстановить трубопроводы диаметром от 150 до 500 мм и увеличить срок их службы. Санацию производят без вскрытия грунта и остановки движения городского транспорта. Рукав транспортируют в дефектный трубопровод прямым протаскиванием (с помощью лебедки), отвердение рукава происходит под действием пара. Под давлением пластиковый рукав плотно прилегает к поверхности поврежденной трубы, равномерно покрывая ее высокопрочным армирующим составом. Труба становится гладкой и полностью герметичной. Процесс осуществляется с применением оборудования отечественного производства. Комплексный рукав изготовляют в ДГУП «Сант» из отечественного сырья и материалов. Высокая экономичность и простота восстановления городской канализационной сети привлекают как отечественных, так и зарубежных заказчиков. Метод хорошо зарекомендовал себя не только в Москве, но и во многих городах России.

В крупных городах остро стоит проблема восстановления трубопроводов до 1000 мм с длиной захвата от 100 пог. м и выше. В настоящее время специалисты ДГУП «Сант» разработали технологии восстановления трубопроводов диаметром 400–1000 мм полимерным рукавом.

По данной технологии внутрь ремонтируемого участка вводится предварительно пропитанный рукав, который продвигается по трубопроводу с помощью гидростатического давления, создаваемого водяным столбом высотой от 3 до 8 м (рис. 5.16). Под действием давления воды пропитанный рукав равномерно и плотно прилегает к поврежденным стенкам трубопровода. Таким образом, производится восстановление всех повреждений трубопроводов любой формы и материала, из которого они сделаны. Как только рукав введен в поврежденный трубопровод, начинается процесс постепенного нагревания воды внутри него за счет циркуляции через бойлерную установку.

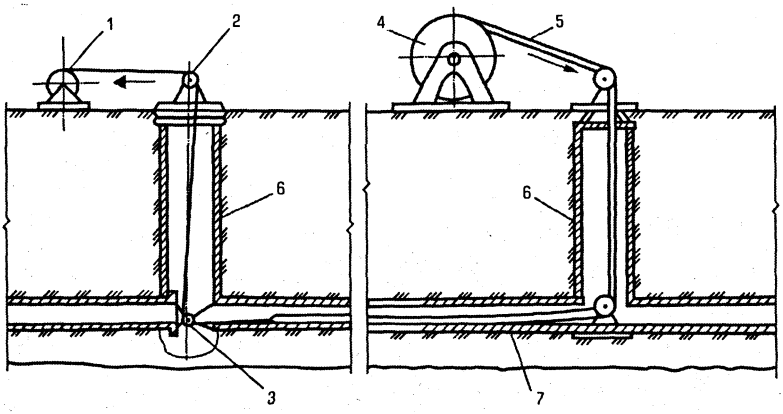


Рис. 5.16. Схема восстановления трубопровода полимерным рукавом

О высоком качестве применяемых в «Мосводоканале» технологий санации трубопроводов свидетельствует тот факт, что его предприятия провели санацию 2,5 км трубопроводов диаметром 200–400 мм в Германии.

Глава 6
ПЕРЕКАЧКА СТОЧНЫХ ВОД

6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

В зависимости от места расположения в общей схеме водоотведения города и выполняемых функций станции могут быть:

локальные — предназначаются для транспортировки сточных вод от отдельно стоящих зданий, административно-хозяйственных помещений, домов индивидуальной застройки и т.п. в самотечные коллекторы;

районные — осуществляют транспортировку сточных вод от жилых микрорайонов из лежащих ниже коллекторов в лежащие выше;

главные — перекачивают сточную жидкость, отводимую со всей территории города на очистные сооружения.

Состав оборудования, его конструктивные особенности, тип, количество основного и вспомогательного оборудования определяются исходя из объема сточных вод, поступающих на насосные станции.

Насосные агрегаты для перекачки сточных вод. Согласно ГОСТ 113-79-80 динамические насосы для сточной жидкости выпускают следующих типов: СД — центробежные; СДС — свободновихревые. По расположению вала: горизонтальные, вертикальные (В), полупогружные (П). По уплотнению вала: сальниковые, торцовые, без уплотнения. По ступеням перекачки: одноступенчатые, двухступенчатые.

Динамические насосы типа СД и СДВ предназначены для перекачки городских и производственных сточных вод со следующей характеристикой сточной жидкости: $\rho = 1050$ кг/м^3; pH = 6–8,5; $t = 80$ °С; крупность абразивных включений до 5 мм и не более 1% по массе. На рис. 6.1 показана принципиальная схема центробежного насоса. Широкое рабочее колесо и вариация количеством лопаток от 2 до 5 позволяют перекачивать сточную жидкость с крупными механическими примесями. Всасывающий патрубок насоса крепится к крышке корпуса на болтах, что позволяет производить замену рабочего колеса, не снимая насос с фундамента. На всасывающем патрубке насосов СД и СДС в нижней крышке корпуса предусмотрены люки-ревизии, через которые произво-

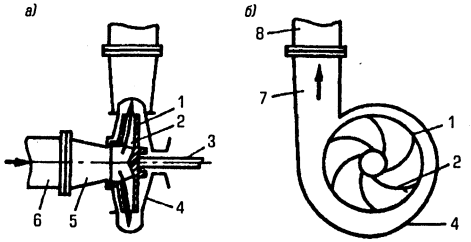


Рис. 6.1. Центробежный насос:
а — продольный разрез; *б* — поперечный разрез; 1 — рабочее колесо;
2 — лопасти рабочего колеса; 3 — вал; 4 — корпус; 5 –всасывающий патрубок;
6 — всасывающий трубопровод; 7 — напорный патрубок;
8 — напорный трубопровод

дится очистка рабочего колеса от отбросов. Для предохранения от износа в верхней и нижней крышках корпусов насосов типа СДВ устанавливают сменные защитные диски, изготовленные из твердых сталей или отбеленного чугуна. В крупногабаритных насосах СД и СДВ (от 2400 м^3/ч) покрывают антикоррозионными и антиабразивными материалами улитки и рабочие колеса, что в значительной степени удлиняет срок службы и предотвращает поверхность указанных узлов от износа.

Для перекачивания сточных вод помимо насосов СД и СДВ применяют погружные насосы отечественного производства: ГНОМ, ЭЦК и ЦМФ. Перечисленные насосы используют как для проведения аварийной откачки сточной жидкости, так и для стационарной установки на насосных станциях.

За последние 10 лет в системе канализации Москвы для повышения надежности работы насосных станций стали широко применяться погружные насосы известных зарубежных фирм, таких, как *ITT FLYGT* (Швеция) и *KSB* (Германия).

Фирма *FLYGT* является лидером в области применения погружных насосов. Первый насос фирмы был разработан и выпущен в 1948 г. Каждый год заводы фирмы *FLYGT* выпускают свыше 80 тыс. погружных насосов. Погружные насосы *FLYGT* имеют обозначение, состоящее из двух букв с четырьмя цифрами, например: *CP* 3152. Первая буква описывает гидравлическую часть насоса, т.е. рабочее колесо и корпус. Поскольку рабочее колесо определяет область применения насоса, эта буква обозначает тип насоса, в который устанавливается данное рабочее колесо: насос типа В; насос типа С и т.д. (С — для данной марки — закрытое канальное рабочее колесо в корпусе для сред с длинноволокнистыми мате-

риалами или твердыми частицами во взвешенном состоянии). Вторая буква указывает способ установки насоса: свободностоящий насос, стационарная установка, стационарная мокрая установка, передвижной (Р — полупостоянная мокрая установка с насосом на двойных направляющих стержнях с автоматическим подсоединением к напорному трубопроводу). Цифры указывают модель, а также определяют размер по сравнению с другими насосами того же типа.

Применение погружных насосов обеспечивает ряд преимуществ в конструкции водоприемного колодца и общей конструкции насосной станции: колодец меньше для заданной подачи насоса благодаря оптимальной гидравлике и меньшему объему наполнения вследствие укороченных насосных циклов; колодец меньше также и потому, что резервные насосы не устанавливают в нем, их хранят на складе; отпадает необходимость в строительстве здания насосной станции, или здание насосной станции можно сделать меньше, поскольку единственными узлами над водой являются блок управления насосами и распредустройство; установка насоса характеризуется простотой и быстротой.

Насосные станции с погружными насосами значительно дешевле как в строительстве, так и в эксплуатации, расходы снижаются до 40–50%.

Все насосные станции оборудованы решетками, задвижками, обратными клапанами и измерительными приборами, электрифицированными грузоподъемными механизмами.

6.2. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ И НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ

Расположение насосных станций. На рис. 6.2 представлены два варианта расположения насосной станции в схеме водоотведения города. При равной производительности насосных станций и практически одинаковых напорах преимущество одного из приведенных вариантов будет зависеть в основном от соотношения капитальных вложений. Необходимо иметь в виду, что второй вариант будет уступать первому по надежности вследствие большой протяженности напорных трубопроводов.

Опыт проектирования показывает, что лучшими экономическими показателями отличаются схемы с районными насосными станциями, расположенными в начальной части коллек-

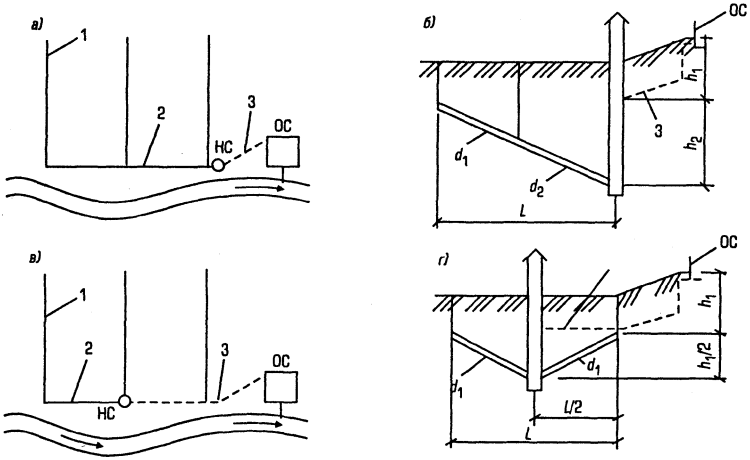


Рис. 6.2. Схемы водоотведения города с одной насосной станцией (*а, в*) и продольные профили главных коллекторов (*б, г*):
1 — коллектор; 2 — главный коллектор; 3 — напорный трубопровод

торов. Это объясняется малой мощностью районной насосной станции (РНС) и существенным снижением заглубления главных коллекторов и главной насосной станции (ГНС), обычно диктуемым начальными участками сети, имеющими большие уклоны.

Насосные станции необходимо располагать в отдельно стоящих зданиях на расстоянии не менее 20 м от жилых домов и пищевых предприятий при их производительности до 50 тыс. $м^3$/сут и не менее 30 м при большей производительности. По периметру территории насосных станций необходимо предусматривать защитные зеленые насаждения шириной не менее 10 м. Не следует располагать такие станции на проездах и набережных.

Насосные станции должны находиться на незатопляемой территории. Отметка порога у входа в них должна быть не менее чем на 0,5 м выше самого высокого уровня воды в водоеме с учетом нагона волны. Все подводящие самотечные трубопроводы перед насосной станцией должны объединяться в один, так как в насосную станцию допускается ввод лишь одного трубопровода.

Перед этими станциями целесообразно предусматривать аварийные выпуски, использование которых возможно лишь в чрезвычайных случаях. Задвижки на аварийных выпусках должны пломбироваться. Наличие аварийных выпусков позволяет значи-

тельно уменьшить последствия прекращения работы насосных станций (затопление территорий города и поступление сточных вод в водоемы, заполнение подводящих трубопроводов и резервуаров насосных станций осадком и др.) в результате сокращения сроков простоя насосных станций. На рис. 6.3 дан пример размещения насосной станции и трубопроводов различного назначения на территории квартала. Места расположения насосных станций и возможность устройства аварийных выпусков должны согласовываться со службами контроля за качеством воды и охраны рыбных ресурсов.

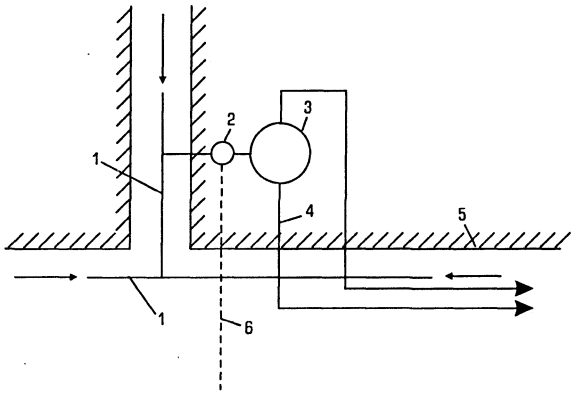


Рис. 6.3. Схема расположения насосной станции и трубопроводов:
1 — самотечные трубопроводы; 2 — камера; 3 — насосная станция;
4 — напорные трубопроводы; 5 — красные линии (границы квадратов);
6 — аварийный выпуск в реку

Исходные данные для проектирования и расчета насосных станций. Для расчета насосной станции требуется знать расходы в отдельные часы суток, и особенно максимальный, средний и минимальный расходы, а также геометрическую высоту подъема воды.

Расходы устанавливают по суммарной таблице притока всех видов сточных вод.

Геометрическая высота подъема воды (рис. 6.4)

$$H_{\Gamma} = Z_0 - Z_{\text{НС}},$$

где Z_0 — отметка уровня подачи сточных вод; $Z_{\text{НС}}$ — отметка уровня откачки сточных вод.

За расчетную отметку откачки уровня сточных вод принимают: отметку среднего уровня воды в приемном резервуаре; отметку уровня воды в подводящем коллекторе при минимальном притоке, если насосная станция не имеет регулирующего резервуара, что характерно для крупных насосных станций.

За отметку подачи сточных вод принимают: отметку верха (шелыги) напорного трубопровода в точке присоединения, если напорный трубопровод присоединяется к приемному колодцу или отводящему самотечному трубопроводу выше горизонта воды в них; отметку максимального расчетного горизонта при подаче под уровень воды (при расположении верха напорного трубопровода ниже уровня воды); отметку верха трубопровода при прохождении им повышенного участка местности, имеющего отметку земли выше уровня воды в точке подачи.

Для обеспечения самотечного движения сточной воды по очистным сооружениям и выпуска ее в водоем предусматривается определенный расчетный перепад воды $h_{ос}$ между первым (головным) очистным сооружением и высоким уровнем воды в водоеме, равным величине общих потерь напора в пределах очистных сооружений и выпуска воды в водоем. Очевидно, что величина этого перепада зависит от числа, состава и конструкции очистных сооружений и выпуска. Таким образом (см. рис. 6.4)

$$Z_0 = Z_р + h_{ос},$$

где $Z_р$ — верхний уровень воды.

Расчету насосной станции должно предшествовать определение диаметра напорных трубопроводов. Число напорных трубопроводов необходимо принимать не менее двух с устройством в случае необходимости между ними переключений. Скорость движения сточных вод следует принимать в напорных трубопроводах в пределах насосных станций от 1 до 2,5 м/с, а за их пределами — 1–1,5 м/с; во всасывающих трубопроводах — 0,7–1,5 м/с.

Расчет насосных станций производят в следующем порядке: определение расчетного расхода; определение напора, который должна создавать насосная станция; подбор насосов по расходу и напору; построение характеристик (графиков) совместной работы насосов и напорных трубопроводов и определение рабочих точек.

Напор, который должна создавать насосная станция, находится по формуле (см. рис. 6.4):

$$H_{НС} = H_Г + h_{н.тр} + h_{в.тр},$$

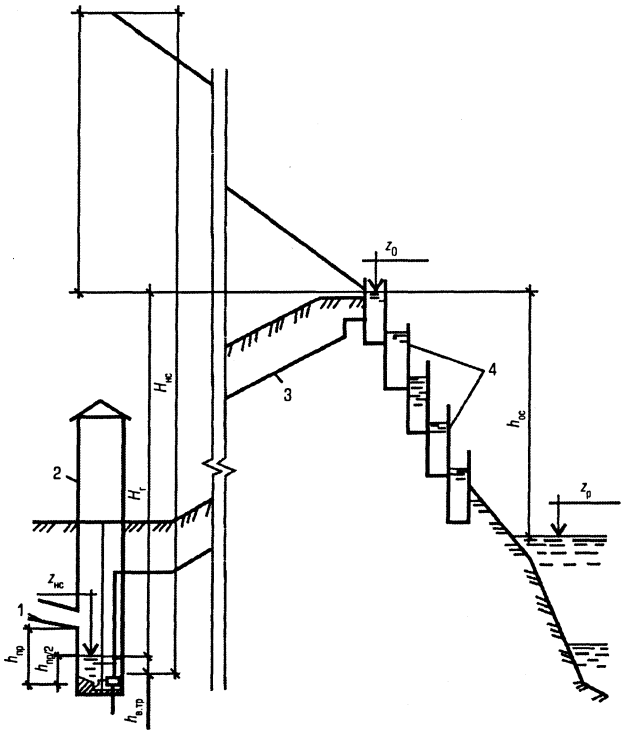


Рис. 6.4. Высотная схема расположения насосной станции и напорного трубопровода:
1 — самотечный подводящий трубопровод; 2 — насосная станция; 3 — напорный трубопровод; 4 — очистные сооружения

где $h_{н.тр}$ и $h_{в.тр}$ — потери напора соответственно в напорном и всасывающем трубопроводах.

Напор, который должна создавать насосная станция, приближенно можно определить по формуле

$$H_{НС} = H_Г + K \cdot i \cdot L,$$

где K — коэффициент, учитывающий потери напора в трубопроводах, расположенных в насосной станции, и равный 1,05–1,1; L — длина напорного трубопровода; i — величина потерь напора на 1 м длины.

Важнейший этап расчета — построение характеристик (графиков) совместной работы насосов и напорных трубопроводов. Он подробно рассматривается в специальном курсе «Насосные и воздуходувные станции».

Определение вместимости приемных резервуаров и особенности их устройства. В приемных резервуарах насосных станций воз-

можно выпадение осадка. Этим и определяются особенности их устройства. Дно приемных резервуаров насосных станций бытовых сетей полных раздельных систем водоотведения должно иметь уклон к приямкам не менее 0,1. По периметру наружных стен резервуаров рекомендуется прокладывать трубопроводы, снабженные патрубками и присоединенные к напорному трубопроводу. С их помощью можно взмучивать и смывать осадок к приямкам. Кроме того, в помещении над резервуаром (в помещении решеток) следует устанавливать поливочные краны, оборудованные шлангами с брандспойтами, которые также служат для взмучивания и смыва осадка в резервуарах. Одной из эффективных мер удаления осадка из резервуаров является обеспечение режима работы насосной станции с периодическим полным опорожнением резервуара.

Напорные трубопроводы и аварийные выпуски. Число напорных трубопроводов от насосных станций следует принимать не менее двух с устройством в случае необходимости между ними переключений. Лишь при специальном обосновании допускается прокладка одного трубопровода. Напорные трубопроводы, как правило, должны выполняться из неметаллических труб (асбестоцементных, железобетонных, пластмассовых), внутри насосных станций трубопроводы — из стальных труб.

В высоких точках перегиба трубопровода необходимо устанавливать вантузы для выпуска и впуска воздуха, а в низких точках — выпуски для опорожнения трубопроводов при ремонтах и периодического сброса осадка. При повороте труб в горизонтальной и вертикальной плоскостях на угол более 10° следует устраивать упоры, конструкция и размеры которых должны определяться расчетом. Арматуру напорных трубопроводов надлежит располагать в колодцах или камерах.

Для предупреждения затопления помещения решеток в аварийных случаях на самотечных трубопроводах в колодце перед насосной станцией устанавливают затвор (задвижку), а для сброса воды в водоем устраивают аварийный выпуск. В начале аварийного выпуска, в колодце, устанавливают задвижку. Приводы затвора на самотечном трубопроводе и задвижки аварийного выпуска должны механизироваться, а управление ими должно осуществляться с поверхности земли. Задвижка аварийного выпуска должна быть опломбирована.

Устье (начало) аварийного выпуска следует располагать выше отметки высоких вод в водоеме для обеспечения спуска воды даже

в период паводка. Оно обычно выполняется в виде берегового оголовка, но можно выносить его и на некоторое расстояние от берега. Отметка устья аварийного выпуска должна быть ниже меженного горизонта воды.

К использованию аварийного выпуска можно прибегать лишь в исключительных случаях. Их устройство должно согласовываться с органами санитарно-эпидемиологической службы, службы охраны рыбных запасов, а также регулирования использования и охраны вод.

6.3. АВАРИЙНО-РЕГУЛИРУЮЩИЕ РЕЗЕРВУАРЫ

В 1996 г. МГУП «Мосводоканал» совместно с ГУП «МосводоканалНИИпроект» был разработан, построен и введен в эксплуатацию новый тип канализационного сооружения — *аварийно-регулирующий резервуар* (АРР), предназначенный для приема бытовых и производственных сточных вод при авариях, отказах на сооружениях и в часы пик. Использование регулирующих емкостей достаточного объема в составе водоотводящих систем позволяет обеспечить равномерную работу насосной станции и очистных сооружений.

На рис. 6.5 показана схема расположения АРР относительно НС.

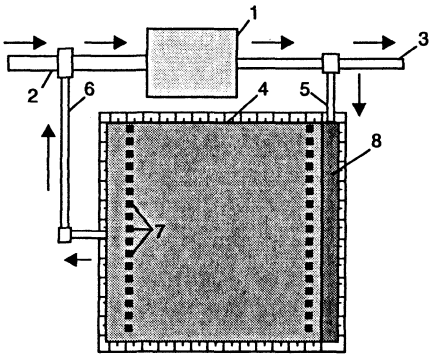


Рис. 6.5. Схема расположения АРР относительно НС:
1 — насосная станция перекачки сточных вод (НС); 2 — подводящий канал к НС; 3 — напорный водовод от НС; 4 — регулирующая емкость АРР; 5 — труба, соединяющая напорный водовод от НС с АРР; 6 — труба, соединяющая АРР с подводящим каналом НС; 7 — фильтры-поглотители для газовоздушной смеси; 8 — галерея задвижек АРР.

6.4. КОНСТРУИРОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Схемы и конструкции насосных станций зависят от гидрогеологических условий и глубины заложения станций, их пропускной способности, состава и свойств перекачиваемой жидкости, типа и числа устанавливаемого оборудования, особенностей расположения насосных агрегатов по отношению к уровню жидкости в резервуаре (под заливом или нет), системы управления агрегатов и др.

Насосные станции, как правило, располагаются в пониженных местах, имеют глубокое заложение, даже ниже уровня подземных вод. В этом случае целесообразно применение насосных станций шахтного типа, имеющих круглую в плане форму (рис. 6.6). Применение опускного способа строительства позволяет преодолевать трудности возведения сооружений, обусловленные сложными гидрогеологическими условиями и большой глубиной заложения. Круглая форма целесообразна и в конструктивном отношении.

При устройстве насосных станций, предназначенных для перекачки сточных вод, содержащих пожаро- и взрывоопасные вещества, приемные резервуары отделяют от машинного отделения. При этом появляется возможность уменьшения заглубления машинного отделения и строительства его с меньшим заложением, чем приемный резервуар. Последний может возводиться опускным способом, а машинное отделение — открытым способом. Положение оси насоса и разницы отметок заложения резервуара и машинного отделения определяют расчетом с учетом высоты всасывания насосов.

Значительно упрощается схема и конструкция насосной станции, если она имеет небольшую глубину и возводится в сухих легких грунтах. Она может иметь прямоугольную форму, а резервуар совмещаться с машинным отделением.

Многообразие условий проектирования обусловливает применение разнообразных схем и конструкций насосных станций. Рассмотренными выше схемами станций не исчерпываются возможные их варианты. В зависимости от условий проектирования могут быть применены различные комбинации из описанных выше схем.

Насосные агрегаты и другое оборудование следует размещать таким образом, чтобы к ним был удобный подход для обслуживания. Целесообразна однорядовая схема расположения насосных

агрегатов с установкой их перпендикулярно стене, отделяющей машинный зал от приемного резервуара.

Размер насосных станций следует определять исходя из габаритов оборудования и величины проходов между ним, а также состава вспомогательных и бытовых помещений в соответствии с рекомендациями СНиП.

Подземная часть насосных станций выполняется из бетона или железобетона, а наземная — из кирпича. Для перекачки различных расходов разработаны типовые проекты насосных станций с различным заглублением подводящих трубопроводов. На рис.6.6, 6.7 и 6.8 приведены примеры насосных станций разного типа.

Для подъема сточных вод на небольшую высоту (3–5 м) насосные станции оснащают надежными и простыми в эксплуатации шнековыми насосами (рис. 6.9).

Насосы данного типа используются на водоотводящих сетях и на очистных сооружениях.

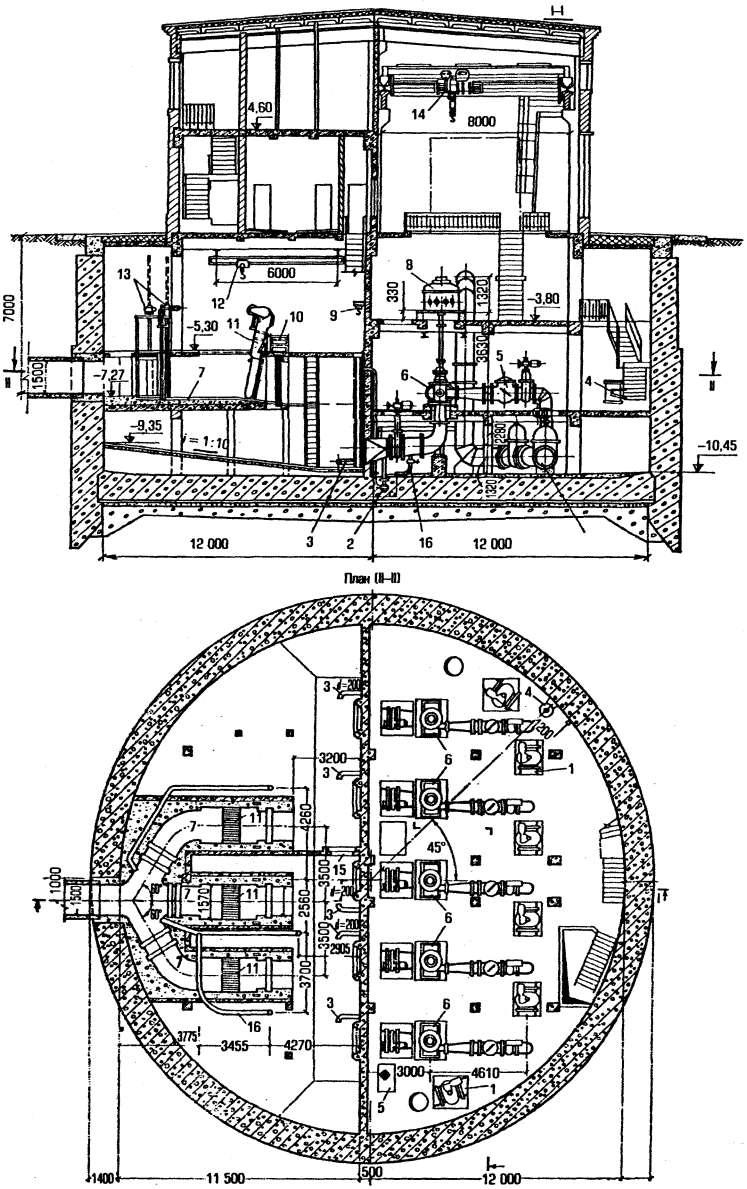


Рис. 6.6. Насосная станция, оборудованная вертикальными насосами: 1 — напорный коллектор; 2 — дренажный насос; 3 — труба для взмучивания осадка; 4 — бак отработанного масла; 5 — насос производственного водопровода; 6 — насосы ФВ2700/26,5; 7 — подводящие каналы; 8 — электродвигатель; 9 — кронштейн для подвешивания талей; 10 — транспортер; 11 — решетка; 12 — кран-балка; 13 — шиберные затворы; 14 — мостовой кран; 15 — щитовой затвор; 16 — сбросная труба

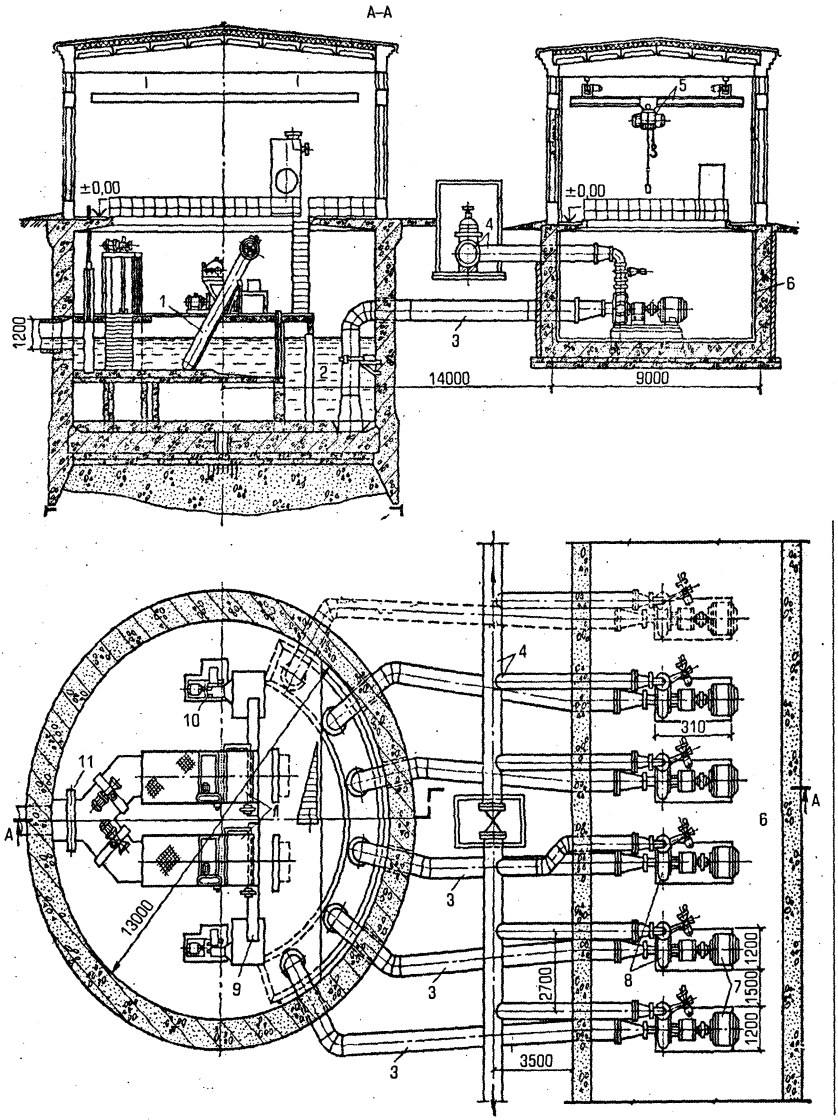


Рис. 6.7. Насосная станция с отдельно стоящим резервуаром:
1 — решетки с механической очисткой; 2 — приемный резервуар;
3 — всасывающие трубы; 4 — напорные трубопроводы; 5 — кран-балка;
6 — машинное отделение; 7 — двигатели; 8 — рабочие насосы; 9 — конвейер;
10 — дробилка; 11 — щитовой затвор

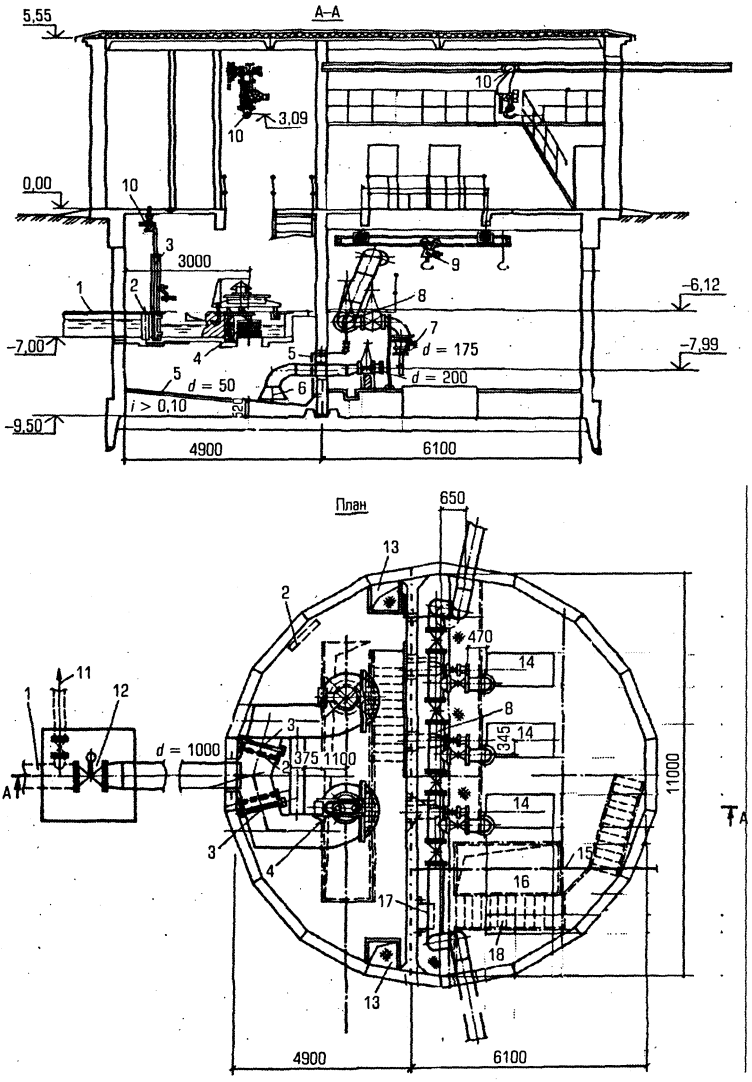


Рис. 6.8. Насосная станция с тремя горизонтальными насосами и решетками-дробилками:
1 — подводящий коллектор; 2 — ремонтная решетка; 3 — затворы отключения решетки; 4 — решетка-дробилка; 5 — трубопровод взмучивания; 6 — всасывающая воронка; 7 — обратный клапан; 8 — напорный коллектор; 9 — подвесная кран-балка; 10 — монорельс с подвесной талью; 11 — аварийный выпуск; 12 — затвор отключения коллектора; 13 — люк; 14 — насосный агрегат; 15 — ось монорельса; 16 — монтажный проем; 17 — бак разрыва струи; 18 — насос-повыситель

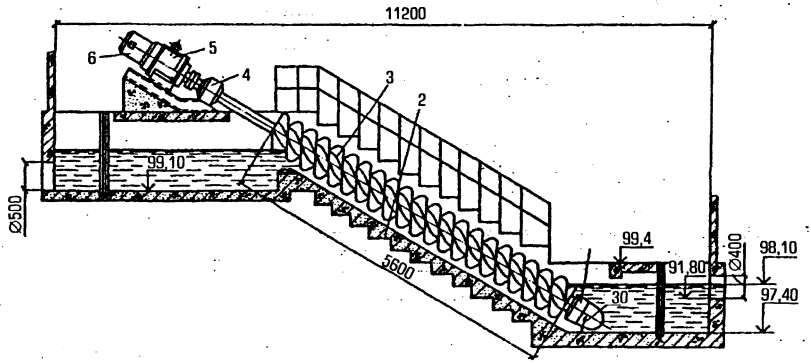


Рис. 6.9. Шнековый насос:
1 — нижняя опора; 2 — кожух; 3 — шнек; 4 — верхняя опора;
5 — понижающая передача; 6 — электродвигатель

Глава 7
ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ (ВОДОСТОКИ)

7.1. ХАРАКТЕРИСТИКА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Объемы выпадающих осадков измеряют высотой слоя воды h, мм, выпавшей за определенный интервал времени, по площади водосбора (в России годовой слой осадков колеблется от 300 мм на севере до 2000 мм в южной субтропической зоне; в средней полосе европейской части этот показатель достигает 600–800 мм). Площадь водосбора — это часть земной поверхности и подстилающих ее почв и горных пород, откуда вода поступает к водным объектам, которые подразделяют на водотоки и водоемы.

Для расчета объемов атмосферных осадков используют параметр интенсивности дождя по объему q, выраженный в л/с с 1 га.

Величину интенсивности дождя q описывают следующим выражением:

$$q = A/t^n, \tag{7.1}$$

где A — многофакторный безразмерный параметр, зависящий от географического положения местности и метеорологических условий; t — продолжительность дождя, мин; n — метеорологический параметр.

По действующим СНиП 2.04.03-85 величину A рекомендуется определять по формуле

$$A = q_{20} \cdot 20^n(1 + \lg P/\lg m_r)^{\gamma}, \tag{7.2}$$

где q_{20} — интенсивность дождя (л/с с 1 га) для данной местности продолжительностью 20 мин при $P = 1$ год (рис. 7.1); P — период времени в годах, в течение которого дождь расчетной интенсивности будет превышен 1 раз (табл. 7.1 и 7.2); m_r — среднее число дождей в год; γ — метеорологический параметр (табл. 7.3).

Наиболее существенное влияние на расчетную величину интенсивности дождя оказывает выбор величины периода однократного превышения расчетной интенсивности P, иначе называемой периодом однократного переполнения водоотводящей сети.

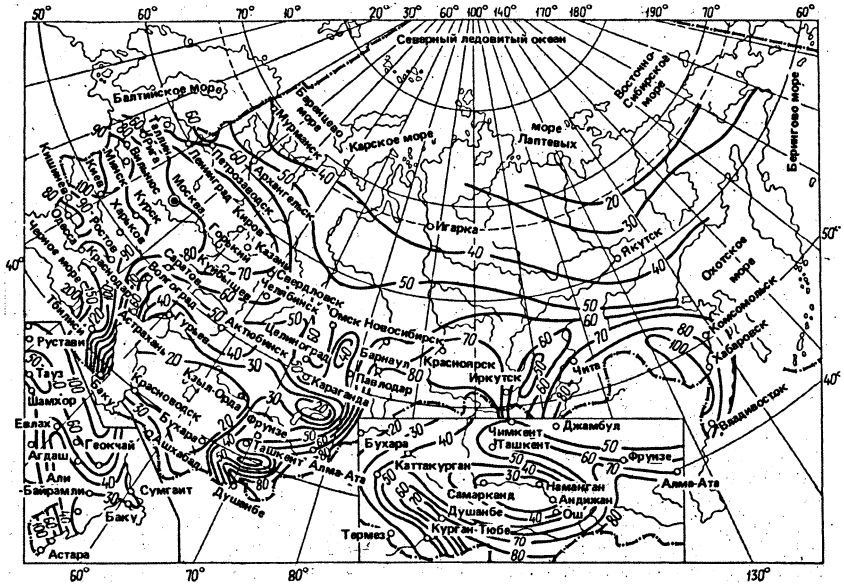


Рис. 7.1. Карта интенсивности дождя q_{20}

Таблица 7.1

Величины периодов однократного превышения расчетной интенсивности дождя для населенных пунктов

Условия расположения коллекторов		*Период однократного превышения расчетной интенсивности дождя P, годы, для населенных пунктов при значениях* q_{20}			
На проездах местного значения	*На магистральных улицах*	*до 60*	*60–80*	*80–120*	*более 120*
Благоприятные и средние	Благоприятные	0,33–0,5	0,33–1	0,5–1	1–2
Неблагоприятные	Средние	0,5–1	1–1,5	1–2	2–3
Особо неблагоприятные	Неблагоприятные	2–3	2–3	3–5	5–10
–	Особо неблагоприятные	3–5	3–5	5–10	10–20

Принятие $P \to \infty$ приведет к значительному завышению размеров и стоимости водоотводящей сети. Поэтому выбор расчетной величины P следует производить с учетом обеспечения минимума затрат на строительство и эксплуатацию системы водоотведения и устранения ущерба от подтопления жилых районов и промышленных предприятий атмосферными осадками. Возможные значения P приведены в табл. 7.1 и 7.2.

Таблица 7.2

Величины периодов однократного превышения расчетной интенсивности дождя для промышленных предприятий

Результат кратковременного переполнения сети	*Период однократного превышения расчетной интенсивности дождя P, годы, для территории промышленных предприятий при значениях q_{20}*		
	до 70	*70–100*	*более 100*
Технологические процессы предприятия: не нарушаются	0,33–0,5	0,5–1	2

Коэффициент стока Ψ представляет собой отношение расхода воды, достигшей водостока $q_в$, к расходу выпавших осадков q_r.

По исследованиям Н.Н. Белова, коэффициент стока зависит от вида покрытия поверхности, интенсивности и продолжительности дождя и выражается формулой

$$\Psi_{mid} = Z_{mid} \cdot q^{0,2} \cdot t^{0,1}, \qquad (7.3)$$

где Z_{mid} — средневзвешенный коэффициент покрова, принимаемый с учетом фактической доли каждого вида покрытия (табл. 7.4).

Для водонепроницаемых поверхностей (кровли и асфальтовые покрытия) величину Z принимают в зависимости от параметра A:

A	...	300	400	500	600	700	800	1000	1500
Z	...	0,32	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23

$$Z_{mid} = \sum f_i \cdot Z = 0,118.$$

С учетом зависимости (7.2) формула (7.3) принимает вид

$$\Psi_{mid} = Z_{mid} \cdot A^{0,2}/t^{0,2 \cdot n - 0,1}. \qquad (7.4)$$

При больших площадях стока учитывают неравномерность выпадения дождя с помощью коэффициента простираемости дождя K по поверхности земли:

F, га	...	500	1000	2000	4000	6000	8000	10 000
K	...	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,55

Анализ приведенных в табл. 7.6 данных показывает, что поступающие в водосточную сеть стоки имеют наиболее существенные загрязнения по нефтепродуктам и взвешенным веществам, причем именно по этим показателям доля, приходящаяся на водосточную сеть, весьма значима в общем объеме загрязнений, поступающих в р. Москву.

Таблица 7.3

Величины метеорологических параметров

Район	*Значение n при*		m_r	γ
	$P \geq 1$	$P < 1$		
Побережье Белого и Баренцева морей	0,4	0,35	130	1,33
Север европейской части и Западной Сибири	0,62	0,48	120	1,33
Равнинные области запада и центра европейской части	0,71	0,59	150	1,54
Возвышенности европейской части, западный склон Урала	0,71	0,59	150	1,54
Нижнее Поволжье	0,66	0,66	50	2
Наветренные склоны возвышенностей европейской части и Северное Предкавказье	0,7	0,66	70	1,54
Ставропольская возвышенность, северные предгорья Кавказа, северный склон Большого Кавказа	0,63	0,56	100	1,82
Южная часть Западной Сибири	0,72	0,58	80	1,54
Средняя Сибирь	0,69	0,47	130	1,54
Восточная Сибирь	0,6	0,52	90	1,54
Бассейны Шилки и Аргуни, долина Среднего Амура	0,65	0,54	100	1,54
Бассейны Колымы и рек Охотского моря, северная часть Нижнеамурской низменности	0,36	0,48	100	1,54
Побережье Охотского моря, бассейны рек Берингова моря, центр и запад Камчатки	0,35	0,31	80	1,54
Восточное побережье Камчатки южнее 56° с.ш.	0,28	0,26	110	1,54
Побережье Татарского пролива	0,28	0,28	110	1,54
Район оз. Ханка	0,28	0,57	90	1,54
Бассейны рек Японского моря, о. Сахалин, Курильские о-ва	0,28	0,44	110	1,54
Черноморское побережье и западный склон Большого Кавказа	0,28	0,58	90	1,54
Побережье Каспийского моря и равнина Дагестана	0,28	0,43	60	1,82

Таблица 7.4

Значения коэффициента покрова Z_{mid} для различных поверхностей

Вид поверхности	*Z*
Брусчатые мостовые	0,224
Булыжные мостовые	0,145
Щебеночные покрытия	0,125
Гравийные садово-парковые дорожки	0,09
Грунтовые поверхности	0,064
Газоны	0,038

Таблица 7.5

Определение средневзвешенного значения коэффициента покрова Z_{mid}

Вид покрытия	*Доля покрытия в общей площади* f_i	*Z*	$f_i \cdot Z$
Кровля и асфальт (*A* = 400)	0,25	0,3	0,075
Газоны	0,35	0,038	0,013
Грунтовые поверхности	0,25	0,064	0,016
Гравийные дорожки	0,15	0,09	0,014

$$\sum f_i \cdot Z = 0{,}118$$

Таблица 7.6

Объем стока с территории Москвы на основе модуля стока по расходам воды в реках для среднего по водности года

Составляющая компонентов питания рек	*Модуль стока,* $м^3/с/1000\ км^2$	*Объем стока в среднем по водности году, млн* $м^3$
Поверхностный сток от атмосферных осадков	4,6	151,0
Грунтовый сток от атмосферных осадков	2,0	65,5
Потери в сетях трубопровода, теплоснабжение и канализация	3,0	98,5
Аварийные и технологические сбросы из водопровода и канализации	3,5	115,0
Поливомоечные воды	0,1	3,15
Промышленные сбросы	3,4	108,0
Всего	16,6	541,1

7.2. СХЕМЫ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

При образовании и последующем развитии городов коренным образом меняются условия отвода поверхностного и грунтового стоков с водосборных территорий. В естественных условиях дождевые и талые воды стекают по склонам, образуя ручьи и речки, которые впадают в более крупные реки. Одновременно тальвеги и долины ручьев и рек дренируют окружающую территорию, принимая грунтовый сток. В пониженных местах рельефа с затрудненным естественным отводом воды образуются водоемы в виде прудов и заболоченных участков земли, играющие роль регулирующих резервуаров.

При развитии города происходит трансформация рельефа, которая может существенно изменить естественные условия приема и отвода атмосферных осадков:

- значительная часть территории покрывается водонепроницаемыми покрытиями (крыши зданий, тротуары, улицы, площади, дороги и автостоянки);
- засыпаются естественные котлованы и тальвеги;
- прокладываемые улицы и дороги трансформируют естественную гидрографическую сеть на городских территориях.

Проектируемая городская водосточная сеть предназначена для отвода выпадающих атмосферных осадков и части грунтовых вод с целью предотвращения подтопления и затопления городских территорий, подземных коммуникаций и сооружений города.

Сеть проектируется как система самотечных трубопроводов, прокладываемых с максимальным использованием существующего уклона поверхности городских территорий.

Схема водосточной сети выбирается с учетом следующих основных факторов:

1. Учет очередности строительства, возможность поэтапного ввода в эксплуатацию водоотводящей сети.
2. Максимальное сохранение природной гидрографической сети города, т.е. использование тальвегов и русел ручьев и рек для прокладки коллекторов, а существующих водоемов — в качестве регулирующих резервуаров.
3. Обеспечение территориального расположения проектируемых (одновременно или позднее) очистных сооружений и регулирующих резервуаров атмосферных осадков.
4. Нежелательность использования дюкеров на водосточной сети.

5. Трассирование водосточной сети с учетом существующей и особенно перспективной планировки улиц, дорог и автострад города, исключающее дорогостоящую перекладку коллекторов при строительстве подземных переходов, развязок и других заглубленных транспортных сооружений.
6. Необходимость размещения мест депонирования снега, убираемого с городских улиц, с последующей очисткой стока талых вод перед их сбросом в реки и водоемы.
7. Исключение устройства (или минимизация количества) насосных станций для перекачки воды, отводимой водосточной сетью.
8. Минимизация количества выпусков водостоков в водоемы для обеспечения мониторинга качества сбрасываемых стоков в режиме реального времени и сокращения затрат на сооружение этих дорогостоящих гидротехнических сооружений.

С учетом вышеизложенного при проектировании водосточной сети наиболее предпочтительной становится децентрализованная схема трассировки сети с прокладкой перехватывающих водосточных коллекторов по тальвегам и забором ручьев и малых рек в коллекторы.

Фактически при проектировании водосточной сети города происходит целенаправленная трансформация естественной гидрографической сети города в коллекторно-речную систему, обеспечивающую, наряду с отводом поверхностного стока от выпадающих атмосферных осадков, дренаж и отвод грунтовых вод с городских территорий.

Конкретный выбор схемы водосточной сети диктуется фактическим рельефом и гидрогеологическими условиями городской территории, санитарным состоянием и перспективой рекреационного использования ее рек и водоемов и производится на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов схемы водоотведения.

Разработка схемы ведется на плане города (масштаб от 1 : 2000 до 1 : 10 000). На схему наносят границы бассейнов водоотведения, трассируют коллекторы и водоотводящую сеть. Намечают места расположения регулирующих резервуаров, очистных сооружений и выпусков в реки и водоемы. На схеме фиксируют границы и длины расчетных участков.

Разработанная и согласованная схема водоотведения является основой для гидравлического расчета водоотводящей сети.

7.3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОСТОКОВ

Расчет водоотводящей сети должен производиться на максимальный расход, соответствующий критической продолжительности дождя. Критическая продолжительность дождя равна времени добегания воды от наиболее удаленной точки площади стока до расчетного участка (рис. 7.2) и определяется по формуле

$$t_r = t_{con} + t_{can} + t_p, \qquad (7.5)$$

где t_{con} — время поверхностной концентрации, принимаемое при наличии внутриквартальной сети — 5 мин., при ее отсутствии — 10 мин.; t_{can} — время пробега воды по уличному водосточному лотку; t_p — время пробега воды по трубопроводам водоотводящей сети.

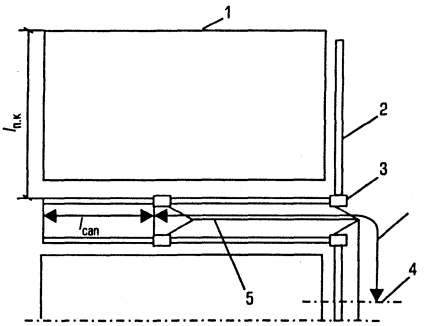


Рис. 7.2. Расчетная схема к определению критической продолжительности дождя:
1 — границы кварталов; 2 — лоток; 3 — дождеприемники; 4 — расчетное сечение; 5 — трубопровод водоотводящей сети

Время пробега воды по водосточному лотку (мин) определяют по формуле

$$t_{can} = 1{,}25 \cdot l_{can}/(v_{can} \cdot 60), \qquad (7.6)$$

где l_{can} — длина лотка, м; v_{can} — скорость движения воды в конце лотка, м/с; 1,25 — коэффициент, учитывающий, что средняя скорость воды по длине лотка меньше, чем в его конце.

Время движения воды по трубопроводам водоотводящей сети (мин) следует рассчитывать по формуле

$$t_p = \sum l_p/(v_p \cdot 60), \qquad (7.7)$$

где l_p — длина расчетных участков сети, м; v_p — скорость движения воды на соответствующих участках, м/с.

С учетом зависимостей (7.6) и (7.7) уравнение (7.5) приобретает следующий вид:

$$t_r = t_{con} + 1{,}25 \cdot l_{can} / (v_{can} \cdot 60) + \sum l_p (v_p \cdot 60), \text{ мин.} \quad (7.8)$$

С учетом зависимостей (7.2) и (7.4) формула для определения расхода дождевых вод приобретает вид:

$$q_r = \frac{Z_{mid} \cdot A^{1,2} \cdot F \cdot K}{t_r^{1,2n-0,1}}. \quad (7.9)$$

При $t_r < 10$ мин в формулу (7.9) следует вводить поправочный коэффициент 0,9 при $t_r = 7$ мин и 0,8 при $t_r = 5$ мин.

Расчетный расход при подборе диаметра трубопроводов корректируют с учетом наличия свободной емкости водосточной сети перед началом дождя расчетной интенсивности:

$$q_{cal} = \beta \cdot q_r, \quad (7.10)$$

где β — коэффициент, учитывающий степень заполнения сети в зависимости от параметра n:

n	...	≤ 0,4	0,5	0,6	≥ 0,7
β	...	0,8	0,75	0,7	0,65

При уклонах поверхности земли 0,01–0,03 значения коэффициента β следует увеличивать на 10–15%.

В расчетные формулы (7.8) и (7.9) входят значения скорости v_{can} и v_p, которыми при использовании метода итерации (последовательного приближения) задаются до начала гидравлического расчета исходя из фактических уклонов уличных лотков и трубопроводов.

Затем в ходе последующего гидравлического расчета заданные значения скоростей уточняют и расчетный цикл повторяют до получения погрешности в пределах 5%.

Рассчитанные водосточные сети проверяют на пропуск расходов талых вод в весенний период снеготаяния. Продолжительность снеготаяния составляет около 10 ч в день.

Для определения расхода талых вод (л/с) используют следующую формулу:

$$q = 5{,}5/(10 + T) \cdot h_c \cdot K \cdot F, \quad (7.11)$$

где T — продолжительность добегания талой воды до расчетного створа, ч; h_c — слой талого стока за 10 дневных часов, мм (табл. 7.7);

K — коэффициент, учитывающий частичный вывоз и окучивание снега, $K = 0{,}4–0{,}7$; F — площадь стока, га.

Таблица 7.7

Слой талого стока h_c за 10 ч

Район отведения талых вод	*Слой талого стока при P = 2 года, мм*	*Слой талого стока при P = 5 лет, мм*
Средняя полоса южнее Москвы, Новосибирска, Иркутска	25	31
Севернее Москвы, Новосибирска, Иркутска до Полярного круга	20	25
Крайний Север	15	19
Юг Сибири и степные районы европейской части	7	16

7.4. ОЧИСТКА ДОЖДЕВОГО СТОКА

В настоящее время на водосточных сетях запроектированы, построены и эксплуатируются очистные сооружения, рассчитанные в основном на задержание взвешенных веществ и нефтепродуктов, которые конструктивно и технологически подразделяются на следующие основные типы:

- щитовые заграждения в акваториях рек на выпусках водосточных коллекторов;
- пруды-отстойники;
- сооружения камерного типа с фильтрами доочистки;
- промливневые очистные сооружения с физико-химической очисткой и фильтрами доочистки.

Щитовые заграждения представляют собой полупогружную перегородку между оголовком дождевого коллектора и основным руслом реки (рис. 7.3).

Часть отгороженной речной акватории между оголовком коллектора и щитовым заграждением работает как отстойник-нефтеловушка и предотвращает попадание в речное русло аварийных и залповых сбросов. Удаление задержанных загрязнений производится периодически с использованием специальных плавсредств.

Пруды-отстойники (рис. 7.4) представляют собой железобетонные открытые емкости, выполненные в виде горизонтальных отстойников с решетками для задержания мусора и маслосборниками.

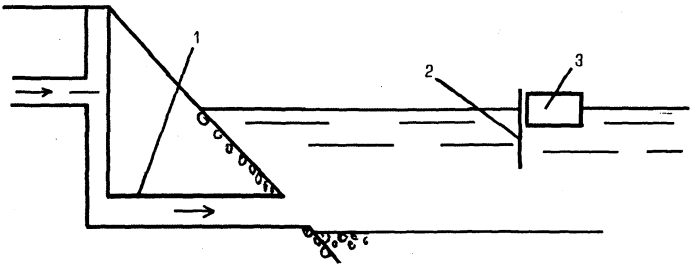


Рис. 7.3. Щитовое заграждение:
1 — береговой выпуск дождевого коллектора; 2 — полупогружная перегородка; 3 — понтоны

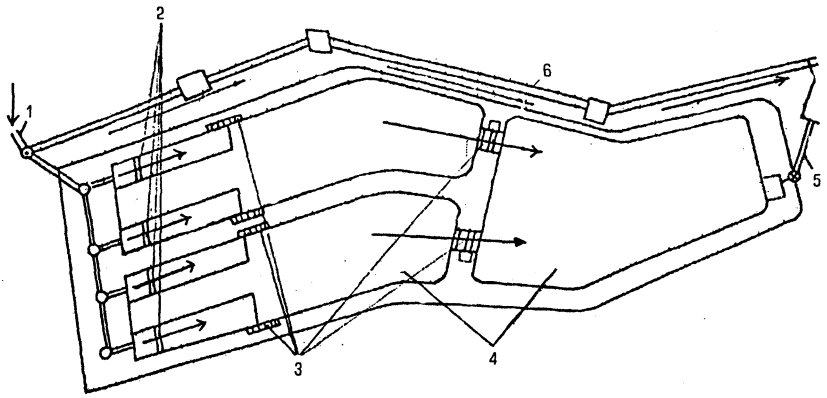


Рис. 7.4. Схема пруда-отстойника:
1 — вход воды; 2 — решетки; 3 — маслосборники; 4 — пруды-отстойники; 5 — выпуск осветленной воды; 6 — обводной коллектор

После прудов-отстойников возможно устройство искусственных или использование естественных водоемов для доочистки осветленной в отстойниках воды. В этой схеме также применяется доочистка на фильтрах.

Выпавший осадок периодически удаляется из прудов-отстойников экскаваторами.

Сооружения камерного типа технологически аналогичны описанным выше прудам-отстойникам (рис. 7.5). Конструктивно от последних они отличаются лишь наличием верхнего покрытия, предохраняющего их от промерзания в зимний период.

Об эффективности очистки поверхностного стока на трех описанных выше типах сооружений можно судить по приведенным в

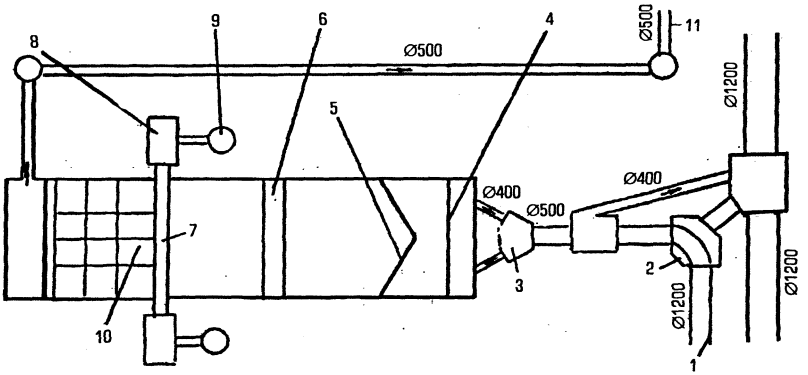


Рис. 7.5. Очистные сооружения камерного типа:
1 — подводящий коллектор; 2 — разделительная камера; 3 — вход осветляемой воды; 4 — переливная стенка; 5 — решетка; 6 — плавающий понтон; 7 — сборник нефтепродуктов; 8 — нефтеразделительная камера; 9 — слив воды; 10 — фильтры доочистки; 11 — отвод очищенной воды

табл. 7.8 эксплуатационным данным по ряду сооружений. Приведенные в этой таблице показатели, а также проведенный сравнительный анализ качества воды в выпусках водостоков в р. Москву показал, что на коллекторах, оборудованных очистными сооружениями, концентрация взвешенных веществ и нефтепродуктов примерно в 2 раза ниже, чем на выпусках без очистных сооружений.

Таблица 7.8

Показатели эффективности работы очистных сооружений

Очистное сооружение	*Нефтепродукты*			*Взвешенные вещества*		
	Концентрация на входе сооружения, мг/л	*Концентрация на выходе сооружения, мг/л*	*Эффективность очистки, %*	*Концентрация на входе сооружения, мг/л*	*Концентрация на выходе сооружения, мг/л*	*Эффективность очистки, %*
Щитовое заграждение «Пресня»	1,638	0,830	49,3	121,5	51,8	57,4
Пруд-отстойник «Братеево»	1,958	0,416	78,7	184,7	19,4	89,5
Сооружение камерного типа «Филевская пойма»	1,203	0,475	60,5	138,5	52,6	62,0
Пруд-отстойник «Городня-2»	0,635	0,451	18,7	20,1	16,3	29,0

На сооружениях очистки так называемого промливневого стока, принадлежащих МГУП «Промотходы», используется технологическая схема с физико-химической очисткой поступающей воды (рис. 7.6).

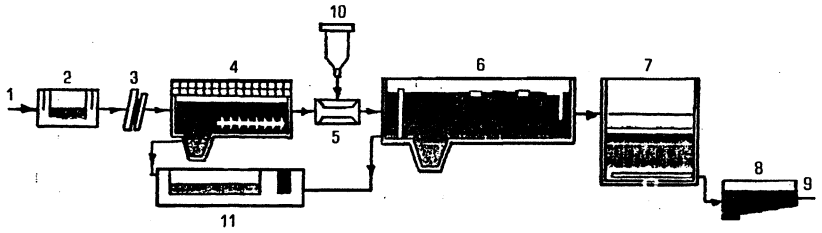


Рис. 7.6. Принципиальная схема очистки промливневого стока на МГУП «Промотходы»:
1 — поступающий на очистку сток; 2 — приемная камера; 3 — механизированные решетки; 4 — песколовки; 5 — смеситель; 6 — горизонтальные отстойники; 7 — мелкозернистые фильтры; 8 — резервуар чистой воды; 9 — сброс очищенного стока в водоприемник; 10 — реагентное хозяйство; 11 — бетонированные площадки для переработки нефтесодержащих осадков

В данной технологической схеме наряду с песколовками также используют регулирующие емкости, позволяющие усреднять пиковые ливневые расходы. В качестве реагента используют сернокислый алюминий. При квалифицированной эксплуатации промливневых очистных сооружений обеспечивается весьма высокое качество очистки воды по основным контролируемым параметрам. Анализ приведенных эксплуатационных данных показывает стабильные показатели очищенного стока, причем эффект очистки по взвешенным веществам и нефтепродуктам составляет 90–95%.

Получаемое качество промливневого стока, очищенного на групповых очистных сооружениях, позволяет повторно его использовать для заправки поливомоечных машин.

Накопленный опыт эксплуатации различных типов очистных сооружений на водосточных сетях позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее дешевые по стоимости и простые по конструкции щитовые заграждения достаточно эффективны и обеспечивают удовлетворительную защиту водоемов от аварийных и залповых несанкционированных сбросов загрязнений;

- пруды-отстойники и сооружения камерного типа при аналогичной эффективности значительно более капиталоемки, и целесообразность их широкого размещения вызывает сомнения;
- наиболее эффективными являются групповые сооружения очистки промливневого стока с повторным использованием очищенной воды.

7.5. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ВОДОСТОКОВ

Водосточные сети прокладывают, как правило, во вторую очередь, когда водопроводные и хозяйственно-бытовые водоотводящие сети уже построены и их расположение принимается во внимание при трассировании водостоков. Водосточные коллекторы прокладывают обычно вдоль оси улиц с подключением к ним дождеприемников, располагаемых вдоль бордюрного камня в месте сопряжения дорожного полотна и тротуара.

Дождеприемники представляют собой камеры, перекрытые чугунными решетками на уровне покрытия дороги (рис. 7.7).

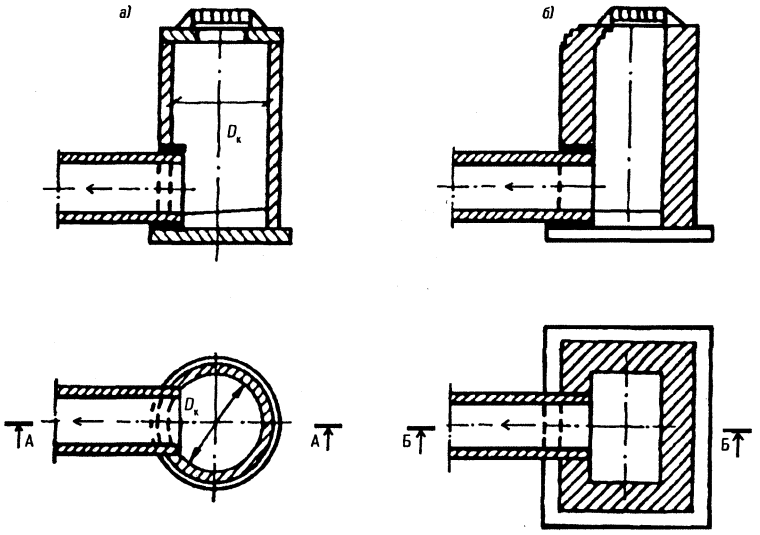


Рис. 7.7. Дождеприемники:
а — круглые железобетонные; *б* — прямоугольные кирпичные

В плане дождеприемники могут быть круглые диаметром 700 или 1000 мм и прямоугольные 600 × 900 мм. Они выполняются из кирпича, бетона или железобетона. Вода из дождеприемника по соединительной ветке отводится в водосток. Соединительные ветки располагают ниже глубины промерзания.

В зарубежной практике используют дождеприемники, решетка которых жестко связана с несущим дорожным покрытием, что позволяет им работать совместно при зимних деформациях земляного полотна и не разрушать его при оттаивании (рис. 7.8). Использование пластмассовых камер, а также соединительных веток и коллекторов из пластмассовых труб существенно снижает стоимость строительства водосточных сетей.

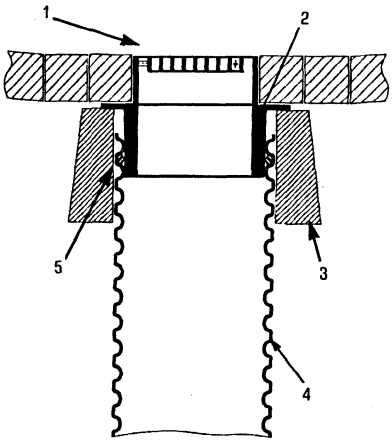


Рис. 7.8. Дождеприемник с пластмассовой камерой:
1 — решетка чугунная; 2 — чугунное опорное кольцо; 3 — бетонная коническая горловина; 4 — пластмассовая камера; 5 — уплотнительное резиновое кольцо

Дождеприемники следует устанавливать:

- на затяжных участках спусков через определенные расстояния, определяемые расчетом, исходя из максимальной ширины потока в лотке перед решеткой, равной 1 м;
- на перекрестках и пешеходных переходах со стороны притока поверхностных вод;
- в пониженных местах при пилообразном профиле лотков улиц;
- в пониженных местах площадей, дворовых и парковых территорий, площадок парковки автомобилей.

В последнее время, особенно в практике строительства элитного жилья, проектируют внутриквартальные водосточные сети, которые позволяют непосредственно подключить к ним выпуски стояков внутренних водостоков. Это позволяет избежать образования дополнительных наледей на проезжей части улиц и проездов в зимний период.

Раздел III
ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Глава 8
СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

8.1. ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД

В понятие «сточные воды» входят различные по происхождению, составу и физико-химическим свойствам воды, которые использовались человеком для бытовых и технологических нужд. При этом вода получила загрязнения и ее физико-химические свойства изменились. Сточные воды разнообразны по составу и, следовательно, по свойствам. По своей природе загрязнения сточных вод подразделяются на *органические*, *минеральные* и *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.

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 *грубодисперсные 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 затрудняет 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.

Различают три основные категории сточных вод в зависимости от их происхождения: хозяйственно-бытовые, производственные и атмосферные.

Хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в водоотводящую сеть от жилых домов, бытовых помещений промышленных предприятий, комбинатов общественного питания и лечебных учреждений. В составе таких вод различают фекальные сточные воды и хозяйственные, загрязненные разными хозяйственными отбросами, моющими средствами. Хозяйственно-бытовые сточные воды всегда содержат большое количество микроорганизмов, которые являются продуктами жизнедеятельности человека, среди которых могут быть и патогенные. Особенностью хозяйственно-бытовых сточных вод является относительное постоянство их состава. Основная часть органических загрязнений таких вод представлена белками, жирами, углеводами и продуктами их разложения. Неорганические примеси составляют частицы кварцевого песка, глины, соли, образующиеся в процессе жизнедеятельности

человека. К последним относят фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли (продукт гидролиза мочевины). Из общей массы загрязнений бытовых сточных вод на долю органических веществ приходится 45–58%.

Производственные сточные воды образуются в результате технологических процессов. Качество сточных вод и концентрация загрязняющих веществ определяются следующими факторами: видом промышленного производства и исходного сырья, режимами технологических процессов. На предприятиях, например металлообрабатывающих, производственные 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 результате выпадения осадков. К этой категории сточных вод относят талые воды, а также воды от поливки улиц. В атмосферных водах наблюдается высокая концентрация кварцевого песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города. Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в ливневых водах примесей, характерных для данного производства. Отличительной особенностью ливневого стока является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

В зависимости от гидрогеологических условий местности, характера производственных процессов в данном регионе, расхода воды на хозяйственно-бытовые и производственные цели выбирается та или иная система водоотведения и, соответственно, схема водоотводящей сети. Загрязнения хозяйственно-бытовых и производственных стоков влияют на технологию очистки воды и на экологическую ситуацию в данном районе.

8.2. 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 сточных 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 определяют

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 вод 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 ориентировочно 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 технологиче-

ских показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе 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 $KMnO_4$. Толь-

ко 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 неорганических соединений. В городских сточных водах основную часть 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 (в виде нитритов и нитратов), 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 содержание 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 (микробное число), 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.

Концентрация загрязнений в сточной воде (мг/л или г/м^3) рассчитывается по формуле

$$B_{en} = \frac{a \cdot 1000}{q}, \qquad (8.1)$$

B_{en} — концентрация какого-либо из загрязнителей в сточной воде поступающей на очистку; a — величина загрязнений, г/сут, на одного человека; q — норма водоотведения, л/чел, в сутки.

Величина загрязнений в сточной воде на одного человека приведена в табл. 8.1

Таблица 8.1

Количество загрязняющих веществ на одного жителя

Показатель	*Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сут*
Взвешенные вещества	65
$БПК_{полн}$ неосветленной жидкости	75
$БПК_{полн}$ осветленной жидкости	40
Азот аммонийных солей N	8
Фосфаты P_2O_5 В том числе моющих веществ	3,3 1,6
Хлориды	9
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	25

Примечания: 1. Количество загрязняющих веществ от населения, проживающего в неканализованных районах, надлежит учитывать в размере 33%.

2. При сбросе бытовых сточных вод промышленных предприятий в канализацию населенного пункта количество загрязняющих веществ от эксплуатационного персонала дополнительно не учитывается.

8.3. СОСТАВ И СВОЙСТВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В процессах механической, биологической и физико-химической очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются различного вида осадки, содержащие органические и минеральные компоненты.

В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки первичные и вторичные.

К *первичным* осадкам относятся грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, флотация, осаждение в центробежном поле. К *вторичным* осадкам относятся примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессе биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образующие твердую фазу (табл. 8.2).

Составы осадков по размеру частиц отличаются большой неоднородностью. Их размеры колеблются от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Таблица 8.2

Классификация осадков сточных вод

Группа осадков	*Тип осадков*	*Сооружения и оборудование, отделяющие осадки*
Первичные осадки		
I	Осадки грубые (отбросы)	Решетки, сита
II	Осадки тяжелые	Песколовки
III	Осадки плавающие	Жировки, отстойники
IV	Осадки сырые, выделенные из сточной воды в результате механической очистки	Отстойники первичные, осветлители
Вторичные осадки		
V	Осадки сырые, выделенные из сточной воды после биологической или физико-химической очистки	Отстойники вторичные, флотаторы
VI	Осадки сброженные, прошедшие обработку в анаэробных перегнивателях, метантенках, и осадки, стабилизированные в аэробных стабилизаторах	Септики, двухъярусные отстойники, осветлители, перегниватели, метантенки, аэробные стабилизаторы
VII	Осадки уплотненные, подвергнутые сгущению до предела текучести (до влажности 90–85%)	Уплотнители: гравитационные, флотационные, сепараторы
VIII	Осадки обезвоженные, подвергнутые сгущению до влажности 80–40%	Иловые площадки, вакуум-фильтры, центрифуги, фильтр-прессы и др.
IX	Осадки сухие, подвергнутые термической сушке до влажности 5–40%	Сушилки: барабанные, вальцовые, с кипящим слоем, со встречными струями

Осадки первичные. *Осадки грубые* (*отбросы*) задерживаются решетками. В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения. По данным эксплуатации очистных станций, средний состав этих отбросов состоит из бумаги — 65%, тряпья — 25%, древесины, пластика — 4%, других отбросов — 6%.

Количество отбросов, задерживаемых решетками с прозорами 16–20 мм, на одного человека в год составляет в среднем 8 л при влажности 80% и объемной массе 750 кг/м^3.

Задержанные отбросы часто подвергаются дроблению с последующим выпуском их в канал перед решеткой. Переработка этих отбросов может осуществляться в метантенках, на пиролизных установках вместе с другими осадками или направляться на компостирование для получения удобрения вместе с мусором.

Осадки тяжелые задерживаются песколовками. В их состав обычно входят песок, обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т.п. При проектировании количество задер-

живаемых тяжелых примесей принимают 0,02 л на одного человека в сутки, или 7,2 л в год, при влажности 60% и объемной массе 1,5 т/м^3.

Осадки плавающие, задерживаемые жироловками или всплывающие в отстойниках. Количество этих примесей в бытовых стоках на одного человека в год составляет 2 л при влажности 60% и объемной массе 0,6 т/м^3.

Осадки сырые задерживаются первичными отстойниками. В бытовых сточных водах эти осадки представляют собой студенистую, вязкую суспензию с кисловатым запахом. Органические вещества в них составляют 75–80% и быстро загнивают, издавая неприятный запах. Влажность осадка при самотечном удалении после 2-часового отстаивания принимается 95%, а при удалении из отстойника плунжерными насосами — 93–94%. Механический состав осадков из первичных отстойников отличается большой неоднородностью. Величина отдельных частиц колеблется от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки вторичные. *Активный ил*, задерживаемый вторичными отстойниками после аэротенков, представляет биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет хлопьевидную массу бурого цвета. В свежем виде активный ил почти не имеет запаха или пахнет землей, но, загнивая, издает специфический гнилостный запах.

По механическому составу активный ил относится к тонким суспензиям, состоящим на 98% по массе из частиц размерами меньше 1 мм. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью — 99,2–99,7%.

Шламы, задерживаемые отстойниками или другими сооружениями после физико-химической очистки, выделяются в результате локальной очистки или доочистки промышленных сточных вод с применением реагентной обработки, фильтрования, электролиза, адсорбции, ионного обмена, обратного осмоса, экстракции и других методов.

Осадки, сброженные в анаэробных условиях. Структура осадка, сброженного в метантенках, двухъярусных отстойниках и других сооружениях анаэробного сбраживания, мелкая и однородная, цвет — почти черный или темно-серый. Осадки отличаются высокой текучестью, выделяют запах сургуча или асфальта. В метантенках распад осадков сопровождается выделением большого количества газа — метана, весьма ценного для использования.

Осадки из аэробных стабилизаторов. Степень распада органического вещества при аэробной стабилизации значительно меньше, чем при анаэробных процессах, но оставшаяся часть достаточно стабильна. После аэробной стабилизации осадки уплотняются в отстойниках за 5–15 ч до влажности 96–98%. При стабилизации бактерии коли гибнут на 95%, но яйца гельминтов не исчезают, поэтому осадки после аэробной стабилизации нуждаются в обеззараживании.

Бактериальная заселенность осадков. В осадках, как и в сточной воде, можно найти многие формы бактерий. Бактериальная заселенность осадков на порядок выше, чем сточных вод. Осадки бытовых стоков содержат большое количество яиц гельминтов. При термофильном сбраживании яйца глистов полностью погибают. То же наблюдается при термогравитационном или термофлотационном уплотнении осадков.

Химический состав. Знание химического состава осадков необходимо для определения наиболее рациональных путей их использования и обработки. В табл. 8.3 приведен химический состав их минеральной части.

Таблица 8.3

Общий химический состав осадков, % к абсолютно сухому веществу

Тип осадков	*Зола*	*Альфа-целлюлоза*	*Гемицеллюлоза*	*Белки, гуматы*	*Жиры*	*Общий азот*	*Фосфор*
Первичные сырые	15–35	5,5–5	5–7	15–21	18–26	3,2–3,8	1,4–2,5
Первичные, сброженные в метантенках:							
мезофильный процесс	28–40	2,8–9	5,8–9	35	7,6–9	3–4,3	2,4–4,8
термофильный процесс	40–42	1,6	6,0	28	9	3,8	4,9
Активный ил из вторичных отстойников после аэротенков	25–30	0,8–2	2,6–2,2	30–35	7,11–14	7,3–6,8	5,4

Обработка осадков, выделяемых в процессе очистки сточных вод, проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве. Эта цель достигается осуществлением трех основных процессов в различных технологических последовательностях: *обезвоживанием* — обеспечивающим минимальный

объем осадков; *стабилизацией* — придающей осадкам способность не выделять вредные продукты разложения при длительном хранении; *обеззараживанием* — делающим осадок безопасным по санитарно-бактериологическим показателям.

Показатели осадков сточных вод. Осадки сточных вод — это суспензии, в которых дисперсной фазой являются твердые частицы органического и минерального происхождения, а дисперсионной средой — вода с растворенными в ней веществами.

Свойства суспензии во многом зависят от содержания в ней воды. Общее влагосодержание в осадках принято определять понятием «влажность».

Влажность — содержание массы воды в 100 кг осадка, выраженное в процентах.

Формы связи влаги. Величина влажности не позволяет оценить в достаточной мере возможность, условия и степень удаления влаги из осадка. Это обусловлено сложностью его структуры и особенностями распределения в ней воды. Однако только направленным воздействием на структуру осадка можно обеспечить эффективность процессов его обезвоживания.

Наиболее полная классификация форм связи влаги с твердыми частицами предложена акад. П.А. Ребиндером. В основе классификации лежит энергия связи, которую необходимо затратить для выделения воды из состава структуры.

В структуре осадка влага может находиться в форме свободной воды, в физико-механической связи с твердыми частицами, а также в физико-химической и химической формах связи.

Свободная влага имеет наименьшую энергию связи со структурой осадка и легко может быть из него удалена. Физико-механически связанная влага — это капиллярная вода, вода смачивания и структурная влага. Физико-химической связью удерживается адсорбционная и осмотическая влага, а химически связанная вода, входящая в состав веществ, не выделяется даже при термической сушке осадков.

Механическими методами обезвоживания осадков, а также естественной сушкой их на иловых площадках удаляется бóльшая часть свободной воды. Физико-механическая связь нарушается вследствие выпаривания или удаления влаги под давлением в аппаратах, которые развивают давление, большее капиллярного, и разрушают структурные связи, при которых возможно нарушение более прочных видов связи и можно добиться удаления части связанной влаги.

Способность осадков к обезвоживанию под действием механических сил (вакуум-фильтрованием, центрифугированием или фильтр-прессованием) характеризуется показателями влагоотдачи: удельным сопротивлением фильтрации, сжимаемостью, индексом центрифугирования.

Удельное сопротивление фильтрации осадка определяют как сопротивление, оказываемое движению фильтрата через слой кека (обезвоженного осадка), отложившийся на 1 м^2 поверхности фильтра и содержащий 1 кг сухого вещества.

Сжимаемость осадка. С увеличением перепада давления поры в структуре осадка уменьшаются, вызывая возрастание сопротивления фильтрации.

На рис. 8.1 приведены схемы структур различных типов осадков.

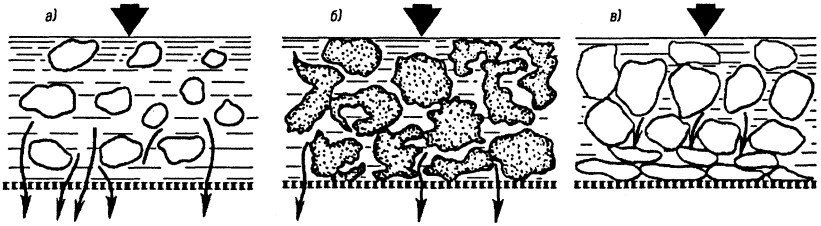


Рис. 8.1. Схемы структур различных типов осадков:
а — легко фильтрующийся осадок; *б* — осадок с высоким удельным сопротивлением; *в* — сжимаемый осадок

В табл. 8.4 приведены некоторые показатели осадков станций очистки городских сточных вод.

Таблица 8.4

Показатели осадков станций очистки городских сточных вод

Вид осадка	*Количество осадка на 1 чел в сут*		*Влажность, %*	*Зольность сухого вещества, %*	*Удельное сопротивление* $r \cdot 10^{-10}$, *см/г*
	по сухому веществу, г	*по объему влажного осадка, л*			
Отбросы с решеток (прозоры 16 мм)	4–6	0,02	70–80	7–8	–
Песок из песколовок	3	0,02	60	80–90	–
Сырой осадок первичных отстойников	25–40	0,5–0,8	93–95	15–30	50–500

Окончание табл. 8.4

Сброженный осадок первичных отстойников в мезофильных условиях	30	0,4–0,7	93–96	28–40	350–1800
Сырой активный ил (уплотненный)	20–32	0,7–1,1	97	25–30	150–5000
Сброженный в мезофильных условиях активный ил	15–25	0,3–0,6	94–96	35–40	2300
Смесь осадка первичных отстойников и активного ила (уплотненного)	45–70	0,6–2,3	93–97	20–30	200–1200
То же, сброженная в мезофильных условиях	30–45	0,4–2,2	92–98	35–40	1200–1600
То же, сброженная в термофильных условиях	30–45	0,75–1,5	96–97	40	1400–10000
Аэробно стабилизированный активный ил (уплотненный)	15–25	0,3–0,6	97	30–35	4000–6000

Глава 9
ВОДОЕМ — ПРИЕМНИК СТОЧНЫХ ВОД

Приемниками сточных вод в основном служат водоемы. Сточные воды перед сбросом в водоем 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 окисляться 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.

Не следует, однако, преувеличивать возможностей водоемов, в частности рек, в отношении приема больших масс сточных вод даже в том случае, если кислородный баланс позволяет осуществить такой сброс без окончательной их очистки. Любой, даже небольшой, водоем, как правило, используется для массового купания и имеет архитектурно-декоративное и санитарное значение.

В настоящее время большинство крупных рек загрязнено сточными водами, поэтому самоочищающая способность рек сильно ограничена. Условия спуска сточных вод в водоемы в Российской Федерации строго регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и «Правилами санитарной охраны прибрежных районов морей». Все водоемы делятся на используемые для питьевого и культурно-бытового назначения и используемые в рыбохозяйственных целях.

Водоемы питьевого и культурно-бытового водопользования, в свою очередь, делятся на два вида. К I относятся участки водоемов, используемые для централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий; ко II — участки водоемов, используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы в черте населенных мест. Вода в водоемах характеризуется определенными свойствами и имеет определенный состав. В воде водоема после

смешения с ней сточных вод количество *растворенного кислорода* в любой период года не должно быть ниже 4 мг/л в пробе, отобранной в 12 ч дня. Биохимическая потребность в кислороде $БПК_{полн}$ не должна превышать 3 мг/л для водоемов I вида и 6 мг/л для водоемов II вида. Содержание *взвешенных веществ* в воде водоема после спуска сточных вод не должно увеличиваться более чем на 0,25 мг/л для водоемов I вида и 0,75 мг/л для водоемов II вида. Реакция воды pH после смешения ее со сточными водами не должна быть ниже 6,5 и выше 8,5. Для вод водоемов установлены также нормативные показатели по окраске, наличию ядовитых веществ, плавающих примесей, возбудителей заболеваний, запахам и привкусам, минеральному составу и температуре.

Водоемы рыбохозяйственного водопользования. Эти водоемы делятся на два вида: I — водоемы, используемые для воспроизводства и сохранения ценных сортов рыб; II — водоемы, используемые для других рыбохозяйственных целей.

К рыбохозяйственным водоемам по ряду показателей предъявляются более высокие требования. Зимой количество растворенного кислорода не должно быть ниже 6 мг/л для водоемов I вида и 4 мг/л для водоемов II вида. Биохимическая потребность в кислороде $БПК_{полн}$ не должна превышать 3 мг/л.

Самоочищающая способность водоема зависит от условий смешения и разбавления сточных вод водой водоемов. Для удовлетворения санитарных требований устанавливают предельно допустимый сброс (ПДС) лимитирующих веществ в целях ограничения поступления загрязнений в водоем со сточными водами.

Уравнение материального баланса имеет вид:

$$\underbrace{qC_{ст.нр}}_{ПДС} + \underbrace{QC_{ф}}_{Фон} = \underbrace{C_{пр}(q + aQ)}_{\text{Нормативное состояние водообъема}}, \qquad (9.1)$$

где q, Q — расход сточных и речных вод, м^3/ч; $C_{ст.нр}$, $C_{ф}$ — концентрация лимитирующего вещества соответственно для нормативно очищенной сточной воды и в реке выше места выпуска, г/м^3; $C_{пр}$ — предельно допустимая концентрация в воде в зависимости от вида водопользования, г/м^3; a — коэффициент смешения, доли единицы.

Коэффициент смешения a находят:

$$a = \left(1 - e^{-\alpha\sqrt[3]{L_ф}}\right) / \left(1 + (Q/q)e^{-\alpha\sqrt[3]{L_ф}}\right), \qquad (9.2)$$

где e — основание натуральных логарифмов; $L_ф$ — расстояние до расчетного створа по фарватеру, м.

Значение α находят по формуле

$$\alpha = \varphi\xi\sqrt[3]{E/q}, \tag{9.3}$$

где φ — коэффициент извилистости реки; ξ — коэффициент, зависящий от места выпуска (при береговом выпуске $\xi = 1$, при фарватерном $\xi = 1{,}5$); E — коэффициент турбулентной диффузии, м/с; q — расход сточных вод, м^3/с.

Коэффициент извилистости φ определяют по формуле

$$\varphi = L_ф/L, \tag{9.4}$$

где L — длина до расчетного створа по прямой, м.

Коэффициент турбулентной диффузии (для равнинных рек) E находят по формуле

$$E = \frac{v_{ср} \cdot H_{ср}}{200}, \tag{9.5}$$

где $v_{ср}$ — средняя скорость течения реки, м/с; $H_{ср}$ — средняя глубина реки на участке между выпуском и расчетным створом, м.

Теоретически расстояние от выпуска сточных вод до створа полного смешения равно бесконечности, поэтому значение коэффициента a, равное 1, на практике не встречается. Для практических расчетов следует определять расстояние до створа достаточно полного смешения, для которого $a = 0{,}95$; 0,9, т.е. в котором сточная вода смешивается с 95 или 90% расхода воды реки.

Взаимосвязь протяженности загрязненной струи до расчетного створа $l_{см}$ и коэффициента смешения устанавливается формулой

$$l_{см} = \left[\frac{2{,}3}{\alpha} \cdot \lg\frac{aQ + q}{(1-a)q}\right]^3. \tag{9.6}$$

При определении в проточных водоемах кратности разбавления n в расчетных створах пользуются формулой

$$n = (aQ + q)/q. \tag{9.7}$$

9.1. УСЛОВИЯ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД В ГОРОДСКУЮ ВОДООТВОДЯЩУЮ СЕТЬ

При расположении промышленного предприятия в черте города или вблизи него загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Для предотвращения нарушения технологического процесса биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод сбрасываемые

воды должны удовлетворять определенным требованиям. Основные из них сводятся к следующему:

- производственные сточные воды не должны быть агрессивными по отношению к материалам водоотводящих сетей и сооружений, не должны содержать примеси такой крупности и такого удельного веса, которые могли бы засорять водоотводящую сеть города;
- в производственных сточных водах не должно быть горючих примесей — бензина, нефтепродуктов, эфиров, а также растворенных газообразных веществ, которые могли бы образовывать взрывоопасные смеси. При биологической очистке городских стоков концентрация нефтепродуктов не должна превышать допустимого предела для процесса биохимической очистки;
- температура смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод не должна превышать 40 °С;
- сбрасываемые в городскую водоотводящую сеть сточные воды не должны содержать бактерий, попадающих с продуктами выработки вакцин и сывороток;
- средние значения pH не должны превышать значений 6,5–7;
- производственные сточные воды, не отвечающие предъявляемым требованиям, подвергаются предварительной очистке на соответствующих локальных установках. Кроме того, предусматривается устройство гидравлических затворов в местах выпуска в городскую водоотводящую сеть.

Общие требования к производственным сточным водам представлены в табл. 9.1.

9.2. УСЛОВИЯ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОЕМ

Многообразие количества и качества сточных вод, как производственных, так и хозяйственно-бытовых, определяет выбор системы водоотведения и схемы водоотводящих сетей и, соответственно, методы очистки.

Санитарная характеристика водоема составляется на основании санитарно-топографического обследования. При этом учитываются также санитарные условия водообеспечения населенных мест. Уточнение категорий водоемов или их участков производится органами санитарно-эпидемиологической службы и рыбохозяйственных организаций. Общие требования к составу и свойствам воды в водоемах и водотоках соответствующих категорий

Таблица 9.1

Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть

Показатель состава и свойств сточных вод	*Единица измерения*	*Предельно допустимая концентрация (ПДК)*
Взвешенные вещества	мг/л	500
Зольность взвешенных веществ	%	30
$БПК_{полн}$	мг/л	500
ХПК	То же	800
pH	–	6,5–8,5
Температура	°С	40
Порог цветности	–	1/16
Плотный остаток	мг/л	2000
Хлориды	То же	350
Сульфаты	»	500
Дополнительно для г. Москвы:		
Cr^{3+}	»	1
Cr^{6+}	»	0,1
Pb	»	0,1
As	»	0,05
Hg	»	0,005
Al	»	1

после выпуска в них сточных вод, подвергшихся необходимой очистке, приведены в табл. 9.2.

Требования к выпуску сточных вод в море соответствуют нормативам приема очищенных сточных вод во внутренние водотоки и водоемы. Однако имеются и некоторые особенности. Согласно «Правилам санитарной охраны прибрежных вод морей» при разработке соответствующих проектов учитываются границы района морского водопользования по береговой линии. В сторону моря она принимается не менее 2 км от береговой линии, далее — на 10 км в обе стороны от границ района водопользования по берегу и в сторону моря. Предусматривается первый пояс санитарной охраны. В границах района водопользования сброс очищенных промышленных и бытовых сточных вод, включая судовые, запрещается.

Спуск сточных вод в непроточные водоемы, моря или водохранилища в последнее время стал чаще встречаться в санитарной практике. Этот вопрос недостаточно изучен в отношении разбавления и самоочищения. При спуске сточных вод в непроточные

Таблица 9.2

Допустимые изменения состава воды в водоемах и водотоках после выпуска в них очищенных сточных вод

<table>
<tr><td rowspan="3">Показатели состава и свойств воды в водоеме после выпуска сточных вод</td><td colspan="4">Требования к составу и свойствам воды в водоеме</td></tr>
<tr><td colspan="2">категории хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения</td><td colspan="2">категории рыбохозяйственного назначения</td></tr>
<tr><td>I</td><td colspan="2">II</td><td>I</td><td>II</td></tr>
<tr><td>Содержание взвешенных веществ</td><td colspan="4">Допускается увеличение не более чем на</td></tr>
<tr><td></td><td>0,25 мг/л</td><td>0,75 мг/л</td><td>0,25 мг/л</td><td>0,75 мг/л</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания на 5% (взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются)</td></tr>
<tr><td>Пленки нефтепродуктов, масел, жиров и других плавающих примесей</td><td colspan="4">Не допускаются</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Запахи, привкусы и окраска</td><td colspan="2" rowspan="2">Допускаются запахи и привкусы интенсивностью не более 2 баллов (непосредственно или после хлорирования воды). Окраска не должна обнаруживаться в столбике воды высотой</td><td colspan="2" rowspan="2">Посторонние запахи, привкусы и окраска воды, влияющие на мясо рыб, не допускаются</td></tr>
<tr><td>20 см</td><td>10 см</td></tr>
</table>

водоемы из-за ограниченности их объема нельзя рассчитывать только на разбавление, не выяснив степень стабильности веществ в сточных водах. Для возможности выпуска сточных вод в такие водоемы необходимо научное обоснование условий спуска сточных вод.

9.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Технологические расчеты необходимой степени очистки сточных вод базируются на уравнении материального баланса.

Определение необходимой степени очистки сточных вод по содержанию взвешенных веществ. Допустимое содержание взвешенных веществ m в спускаемых в водоем сточных водах определяется по уравнению (в соответствии с санитарными правилами)

$$aQb + qm = (aQ + q)(b + p), \tag{9.8}$$

откуда

$$m = p(aQ/q + 1) + b, \tag{9.9}$$

где b — содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м^3; p — допустимое по санитарным правилам увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м^3; Q, q — расходы соответственно речных и сточных вод, м^3/сут.

Необходимую степень очистки по взвешенным веществам $Э_в$ (%) определяют по формуле

$$Э_в = 100(C - m)/C, \tag{9.10}$$

где C — количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м^3.

Во избежание отложения взвешенных веществ в водоеме их гидравлическая крупность не должна превышать 0,4 мм/с при выпуске в реку и 0,2 мм/с — в водохранилище. Если в сточной воде концентрация взвешенных веществ не удовлетворяет этому требованию, то перед сбросом в водоем ее необходимо отстаивать для осаждения взвешенных частиц указанной гидравлической крупности.

При сбросе стоков, содержащих токсичные вещества, необходимо произвести оценку качества сбрасываемой воды по предельно допустимой концентрации по формуле

$$C_{ст.нр} = (n - 1)(C_{пр} - C_ф) + C_{нр}, \tag{9.11}$$

где n –коэффициент разбавления, $n = (q + aQ)/q$; $C_{нр}$ = ПДК, если в воде присутствует один вид загрязнений.

Определение необходимой степени очистки по $БПК_{полн}$. При расчете учитывается снижение БПК воды за счет разбавления и биохимических процессов самоочищения сточных вод от органических веществ в летний период.

Баланс биохимической потребности в кислороде смеси речной и сточной вод в расчетной точке (без учета реаэрации) выражается уравнением

$$qL_{ст} \cdot 10^{-k_{ст}t} + aQL_р \cdot 10^{-k_р t} = (q + aQ)L_{пр.д}, \tag{9.12}$$

где $L_{ст}$ — $БПК_{полн}$ сточной жидкости, которая должна быть достигнута в процессе очистки, г/м^3; $L_р$ — $БПК_{полн}$ речной воды до места выпуска сточных вод, г/м^3; $L_{пр.д}$ — предельно допустимая $БПК_{полн}$ смеси речной и сточной воды в расчетном створе, г/м^3;

$k_{ст}$ и $k_р$ — константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой; t — продолжительность пробега воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта, сут.

Отсюда

$$L_{ст} = [aQ/(q \cdot 10^{-k_{ст}t})] \cdot (L_{пр.д} - L_р \cdot 10^{-k_р t}) + L_{пр.д}/10^{-k_{ст}.t} \quad (9.13)$$

Необходимая степень очистки по БПК $Э_Б$, %, определяется по формуле

$$Э_Б = 100(L_а - L_{ст})/L_а. \quad (9.14)$$

Определение необходимой степени очистки по растворенному кислороду в воде водоема. Допустимую максимальную величину БПК спускаемых в водоем сточных вод определяют по требованиям санитарных правил. При этом минимальное содержание растворенного кислорода должно быть 4 или 6 мг/л после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования). Расчеты производятся для величины $БПК_{полн}$. Кислородный режим в водоемах определяют для летнего и зимнего периодов. В качестве расчетного принимается наиболее неблагоприятный период.

Существует ряд способов определения допустимой нагрузки сточных вод на водоем по содержанию кислорода. Наиболее простой основан на учете поглощения сточными водами только того растворенного кислорода, который подходит с речной водой к месту спуска сточных вод. При этом считают, что если концентрация в речной воде растворенного кислорода не станет ниже 4 мг/л в течение двух суток, то это снижение не произойдет и в дальнейшем. Это условие выражено уравнением

$$aQO_р - (aQL_р + qL_{ст}) \cdot 0{,}4 = (aQ + q) \cdot 4, \quad (9.15)$$

где $O_р$ — содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м^3; aQ — расчетный расход речной воды в м^3/с, участвующий в смешении; q — расход сточных вод, м^3/с; $L_р$ и $L_{ст}$ — $БПК_{полн}$ соответственно речной и сточной воды, г/м^3; 0,4 — коэффициент для пересчета $БПК_{полн}$ в двухсуточное; 4 — наименьшая концентрация растворенного кислорода, которая должна сохраниться в воде водоема, г/м^3.

Таким образом, приведенное выше уравнение составлено из условия, что весь наличный запас растворенного кислорода должен быть израсходован на окисление органического загрязнения речной и сточной воды. В результате концентрация растворенного кислорода в общей смеси должна быть равна или 4, или 6 мг/л. Допустимая концентрация сточных вод при этом условии

$$L_{ст} = (2{,}5aQ/q) \cdot (O_р - 0{,}4L_р - 4) - 10. \quad (9.16)$$

Второй способ расчета позволяет учитывать процессы поглощения кислорода сточными водами из речной воды и поверхностную реаэрацию. При расчете кислородного баланса по этому способу кроме указанных выше величин учитывают среднюю скорость движения воды в водоеме, температуру воды в реке в расчетный период, константы скорости биохимического поглощения кислорода и скорости поверхностной реаэрации. При этом величина $L_а$ является средней и устанавливается по формуле

$$L_а = (L_р aQ + L_{ст} q)/(aQ + q), \quad (9.17)$$

где $L_а$ — $БПК_{полн}$ в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/л.

Определение необходимой степени очистки по температуре воды водоема. Расчет производится в соответствии с санитарными требованиями, ограничивающими повышение летней температуры воды за счет поступающих в водоем сточных вод по уравнению

$$T_{ст} = (aQ/q + 1) \cdot Т_Д + T_р, \quad (9.18)$$

где $T_{ст}$ — температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования; $T_р$ — максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время; $Т_Д$ — допустимое повышение (не более чем на 3 °С) температуры воды водоема.

Определение необходимой степени разбавления по запаху, окраске, и привкусу. В тех случаях, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах сточных вод исчезают, достаточно сравнения величины разбавления, которое возможно у расчетного створа.

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному показателю вредности. При определении необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептическому показателям вредности пользуются уравнением материального баланса. При этом установлены ПДК на вещества и показатели.

Глава 10
МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ

Методы очистки сточных вод можно разделить на механические, физико-химические и биохимические. В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке. 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.

Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций.

Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Песколовки служат для выделения примесей минерального состава, главным образом песка. **Отстойники** задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод.

Сооружения механической очистки сточных вод являются предварительной стадией перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод удается задержать до 60% нерастворенных загрязнений.

Физико-химические методы очистки городских сточных вод с учетом технико-экономических показателей используют весьма редко. Эти методы в основном применяют для очистки производственных сточных вод.

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

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют раство-

ренные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания. Сооружения биологической очистки условно могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным (поля фильтрации и биологические пруды). В сооружениях второго вида аналогичная очистка осуществляется в искусственно созданных условиях — в аэротенках и биофильтрах.

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.

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 сточных вод 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, используются бактерицидные ультрафиолетовые лампы.

Обработка осадков сточных вод, образующихся в процессе очистки, 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 и 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) направляются в метантенки — герметичные резервуары, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо метантенков может применяться метод анаэробной стабилизации. Дальнейшее снижение влажности осадков может достигаться в аппаратах механического действия — на

вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах. Иловые площадки устраиваются для обезвоживания в естественных условиях сброженного в метантенках осадка.

10.1. РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляют собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от многих факторов: расхода сточных вод и мощности водоема; расчета необходимой степени очистки; рельефа местности; характера грунтов; энергетических затрат и др.

Расчет необходимой степени очистки показывает, какой эффект задержания загрязняющих веществ необходимо достичь на очистных сооружениях. Возможен вариант, что необходимый эффект очистки обеспечивается только сооружениями механической очистки. Такие сооружения могут разрабатываться для поселков городского типа, имеющих водоотводящую систему и расположенных на многоводных реках, при расходе сточных вод не более 10 тыс. $м^3$/сут.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений по взвешенным веществам и по $БПК_5$ до 15–20 мг/л. В технологических схемах биологической очистки применяются биофильтры при расходах сточных вод 10–20 тыс. $м^3$/сут, аэротенки — при расходах от 50 тыс. до 2–3 млн $м^3$/сут.

Если расчет необходимой степени очистки сточных вод определяет более высокий эффект, чем могут обеспечить сооружения биологической очистки, то возникает необходимость глубокой очистки сточных вод.

Технология обработки осадков, образующихся в процессе очистки, определяется в зависимости от их свойств, объемов, наличия площадей.

10.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Если при расчете необходимой степени очистки сточных вод концентрация взвешенных веществ должна быть снижена на 40–50%, а величина показателя $БПК_{полн}$ на 20–30%, то можно

ограничиться механической очисткой. Состав сооружений принимается по схеме, приведенной на рис. 10.1. Расход сточных вод при такой схеме составляет не более 10 тыс. м^3/сут.

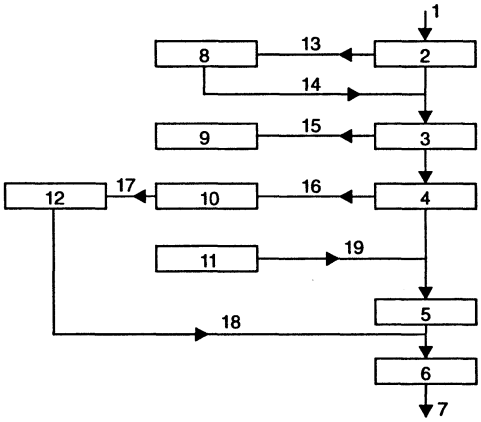


Рис. 10.1. Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод:
1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — отстойники; 5 — смесители; 6 — контактный резервуар; 7 — выпуск; 8 — дробилки; 9 — песковые площадки; 10 — метантенки; 11 — хлораторная; 12 — иловые площадки; 13 — отбросы; 14 — пульпа; 15 — песчаная пульпа; 16 — сырой осадок; 17 — сброженный осадок; 18 — дренажная вода; 19 — хлорная вода

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживается при использовании хлора. Отбросы с решеток направляются в дробилку и в виде пульпы сбрасываются в канал перед или за решеткой. Возможен вариант вывоза отбросов на полигон. Осадок из песколовок перекачивается на песковые площадки. Из отстойников осадок направляется в метантенки с целью окисления органических веществ. Для обезвоживания сброженного осадка используются иловые площадки, дренажная вода с этих площадок перекачивается в канал перед контактным резервуаром.

При больших расходах сточных вод — от 50 тыс. м^3/сут до 2–3 млн м^3/сут и более — применяется технологическая схема, приведенная на рис. 10.2.

Механическая очистка сточных вод производится на решетках, в песколовках и отстойниках. Сырой осадок из первичных отстойников направляется в метантенки. Биологическая очистка сточных вод по этой схеме осуществляется в аэротенке. Для нормальной жиз-

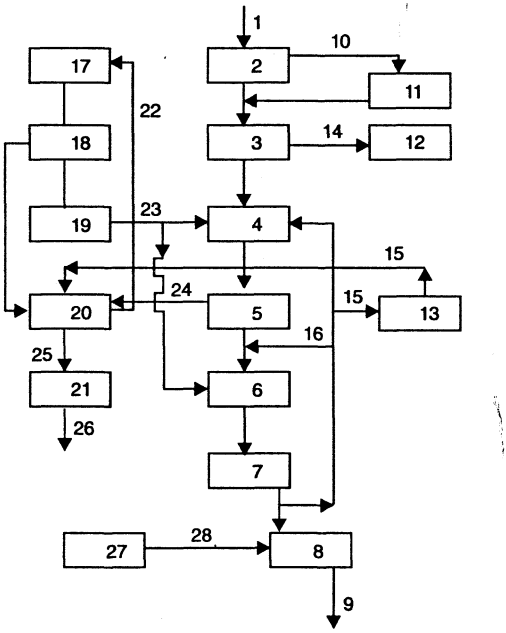


Рис. 10.2. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках:
1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — преаэраторы; 5 — первичные отстойники; 6 — аэротенки; 7 — вторичные отстойники; 8 — контактный резервуар; 9 — выпуск; 10 — отбросы; 11 — дробилки; 12 — песковые площадки; 13 — илоуплотнители; 14 — песок; 15 — избыточный активный ил; 16 — циркуляционный активный ил; 17 — газгольдеры; 18 — котельная; 19 — машинное здание; 20 — метантенки; 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

недеятельности микроорганизмов активного ила в аэротенк должен поступать воздух, который подается воздуходувками, установленными в машинном здании. Смесь очищенной сточной воды и активного ила из аэротенка направляется во вторичный отстойник, где осаждается активный ил и основная его масса возвращаются в аэротенк. Очищенная сточная вода обеззараживается в контактном резервуаре и сбрасывается в водоем. Сброженный осадок из метантенков направляется для механического обезвоживания на вакуум-фильтры или фильтр-прессы. Обезвоженный осадок может подвергаться термической сушке и использоваться в качестве удобрения.

На рис. 10.3 приведена технологическая схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах. Такие схемы используются

для расходов сточных вод порядка 10–20 тыс. м^3/сут. После сооружений механической очистки вода поступает на биофильтры и затем во вторичные отстойники, в которых задерживается биологическая пленка (биопленка), выносимая водой из биофильтров; далее вода направляется в контактный резервуар, дезинфицируется и сбрасывается в водоем.

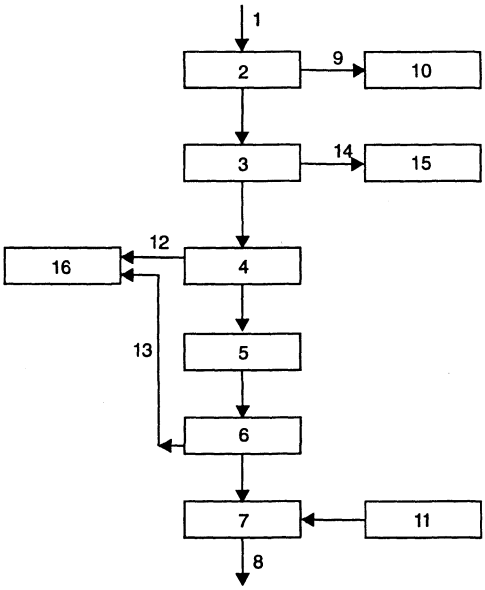


Рис. 10.3. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах:
1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — первичные отстойники; 5 — биофильтры; 6 — вторичные отстойники; 7 — контактный резервуар; 8 — выпуск; 9 — отбросы; 10 — дробилки; 11 — хлораторная установка; 12 — осадок из первичных отстойников; 13 — биопленка из вторичных отстойников; 14 — песок; 15 — бункер песка; 16 — иловые площадки

Физико-химическая очистка городских сточных вод применяется для очистки расходов 10–20 тыс. м^3/сут. На рис. 10.4 приведена технологическая схема физико-химической очистки сточных вод.

Вода, прошедшая решетки и песколовки, направляется в смеситель, куда подаются растворы реагентов — минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. После камер хлопьеобразования осадки отделяются от очищенной воды в горизонтальных отстойниках. Для глубокой очистки от взвешенных веществ ис-

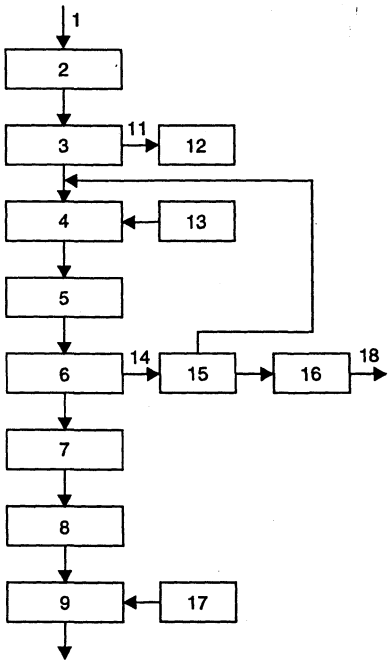


Рис. 10.4. Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод:
1 — сточная вода; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — смеситель; 5 — камера хлопьеобразования; 6 — горизонтальные отстойники; 7 — барабанные сетки; 8 — фильтры; 9 — контактный резервуар; 10 — выпуск в водоем; 11 — песок; 12 — бункер песка; 13 — приготовление и дозирование реагентов; 14 — осадок; 15 — осадкоуплотнители; 16 — центрифуги; 17 — хлораторная; 18 — шлам; 19 — отстоенная вода

пользуются 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 по измененным схемам.

Технологические схемы очистки производственных сточных вод могут применяться при использовании самых разнообразных методов очистки, включая физико-химические методы, биологический метод и т.д. Это зависит от специфики загрязняющих сточные воды веществ, их концентрации и ПДК сброса в городскую канализацию.

Глава 11
СООРУЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

11.1. РЕШЕТКИ

Содержащиеся в сточных водах крупноразмерные (более 1 см) отбросы, являющиеся отходами хозяйственно-бытовой и производственной деятельности, представляют собой остатки пищи, упаковочные материалы, бумагу, тряпье, санитарно-гигиенические, полимерные и волокнистые материалы. В процессе транспортирования по водоотводящим сетям крупноразмерные отбросы адсорбируют содержащиеся в сточных водах органические соединения, жиры. Образующийся на поверхности отбросов адгезионный слой способствует налипанию на них значительного количества песка, шлаков и других минеральных частиц. Таким образом, формируются многокомпонентные крупноразмерные органо-минеральные составляющие отбросов.

Песок, проносимый на крупноразмерных органических загрязнениях через песколовки, выпадает в осадок в первичных отстойниках, что затрудняет выгрузку осевшего осадка, его перекачку по илопроводам и выгрузку сброженного осадка из метантенков. Кроме того, легкие плавающие отбросы, проходя через отстойники, осложняют работу сооружений доочистки или выносятся с очищенными водами в водоемы, что недопустимо. Таким образом, эффективное удаление крупноразмерных загрязнений из сточных вод при их прохождении через решетки позволит обеспечить нормальную эксплуатацию песколовок, первичных отстойников, метантенков и трубопроводов подачи осадков на метантенки, а также повысить качество очистки стоков.

Вместе с тем дать прямую количественную оценку концентрации крупноразмерных загрязнений в сточной воде весьма затруднительно, так как практически невозможно отобрать пробы сточной воды с содержанием крупных отбросов, равных их средневзвешенной концентрации в общем объеме сточных вод. Поэтому о содержании крупноразмерных загрязнений в сточных водах судят косвенным методом по количеству отбросов, задержанных на решетках с различной шириной прозоров (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Зависимость массы задержанных отбросов от ширины прозоров решетки

Количество вносимых в сточную воду от 1 жителя крупноразмерных загрязнений, по данным МГП «Мосводоканал», составляет порядка 20 г/чел·сут.

Решетки являются первым элементом всех технологических схем очистки сточных вод. Они устанавливаются в уширенных каналах перед песколовками. О классификации решеток в зависимости от их конструктивного решения можно судить по данным, приведенным в табл. 11.1.

В большинстве конструкций решетки выполняют из расположенных параллельно друг другу стальных стержней различного сечения, закрепленных в раме для обеспечения их жесткости. Загрязнения, задерживаемые на стержнях при процеживании сточной воды, снимают механическими граблями, которые могут быть расположены перед стержнями или после них. На рис. 11.2 приведена схема зарубежной решетки с тонкими стержнями из нержавеющей стали.

Клиновидное сечение стержней имеет размеры 4×10 мм. Стержни жестко закреплены в придонной части канала и свободны сверху. Установленные на бесконечном гибком приводе грабли снимают загрязнения со стержней и сбрасывают их на транспортер, расположенный за решетками. Кроме транспортеров применяют также спиральные шнеки и системы гидротранспорта отбросов. Решетки выпускаются с шириной прозоров от 1 до 50 мм и рабочей шириной от 338 до 1200 мм.

Размер решеток определяется из условия обеспечения в прозорах скорости движения сточной воды $v_p = 0{,}8–1{,}0$ м/с при макси-

Таблица 11.1

Характеристика решеток и сит

Параметр	Тип решетки (сита)*						
	МГ	РМН	RS-16	RS-35	РГД	РСФ-01	СЗС
Ширина решетки, мм	2100	2100	1200	1900	1200	1455	3000
Ширина фильтрующей части, мм	810	728; 810	850	1500	950	950	2560
Высота от дна, мм	4500	4500	3300	3500	2500	3252	3000
Длина, мм	2600	2660	1800	1800	1800	1480	6680
Высота выгрузки от пола, мм	900	900	450	450	1500	2070	800
Максимальная глубина канала, мм	3000	3000	1000	3000	1000	1000	4200
Ширина прозоров, мм	16; 12	10; 6	5	3	10	4	1,4
Толщина фильтрующих пластин, мм	10	10	3	3	10	3	
Масса, кг	4500	3750	900	4300	2100	2400	
Максимальный уровень жидкости перед решеткой, мм	2000	2000	600	2000	600	600	3000
Мощность электродвигателя, кВт	1,5	0,75	1,1	4.0	0,85	1,5	1,5

* МГ- механические грабли; РМН — решетки механизированные наклонные; *RS* — решетка ступенчатая механическая фирмы «*MEVA*»; РДГ — решетка дуговая гидравлическая; РСФ-01 — решетка ступенчатая механическая; СЗС — плоское щелевое сито.

мальном притоке на очистные сооружения. При скорости более 1,0 м/с уловленные загрязнения продавливаются через решетки. При скорости менее 0,8 м/с в уширенной части канала перед решеткой начинают выпадать в осадок крупные фракции песка и возникает необходимость их удаления.

Для решеток с прозорами шириной b, м, справедливо соотношение

$$q = \omega \cdot v_р = b \cdot h \cdot n \cdot v_р, \text{ м}^3/\text{с}, \qquad (11.1)$$

где q — максимальный расход сточных вод; ω — площадь живого сечения прозоров всей решетки, м^2; h — глубина воды перед решеткой, м; n — число прозоров.

Количество прозоров в решетках, необходимых для пропуска поступающих сточных вод, составит

$$n = q \cdot K_{ст}/b \cdot h \cdot v_р, \qquad (11.2)$$

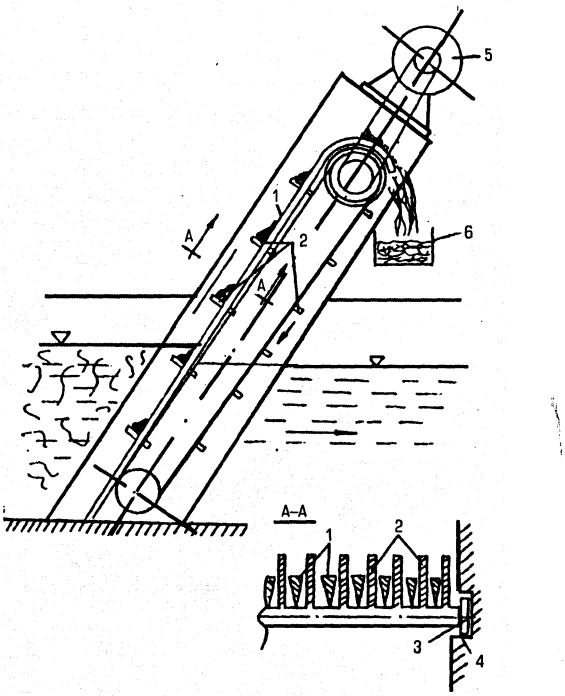


Рис. 11.2. Схема решетки фирмы «Джоунс энд Аттвуд» (Великобритания): 1 — профиль стержней; 2 — грабли; 3 — опора грабель; 4 — направляющая опоры грабель; 5 — двигатель; 6 — транспортер

где $K_{ст} = 1{,}05–1{,}1$ — коэффициент, учитывающий стеснение потока механическими граблями.

Общая ширина решеток равна

$$B = S(n - 1) + b \cdot n, \text{ м}, \qquad (11.3)$$

где S — толщина стержней.

Исходя из общей ширины решеток подбирают необходимое количество рабочих решеток (см. табл. 11.1). Дополнительно устанавливают 1–2 резервные решетки и предусматривают устройство обводной линии для пропуска воды в случае аварийного засора решеток. Решетки размещают в отдельном отапливаемом помещении ($t_{расч} = 16$ °С) с кратностью обмена воздуха 5. Между решетками для их обслуживания предусматривают проходы не менее 1,2 м. Пол здания располагают не менее чем на 0,5 м выше расчетного уровня воды в канале.

Низкая технологическая эффективность ранее широко распространенных решеток МГ вызвала необходимость организации на предприятиях МГУП «Мосводоканал» собственного производства решеток типа РМН (рис. 11.3, прозоры 6 мм) с постепенной их установкой вместо решеток МГ на всех станциях аэрации предприятия. В результате замены решеток объемы задержанных загрязнений увеличились в 5–6 раз. Однако внедрение решеток типа РМН не позволило полностью выделить из сточных вод все грубодисперсные примеси.

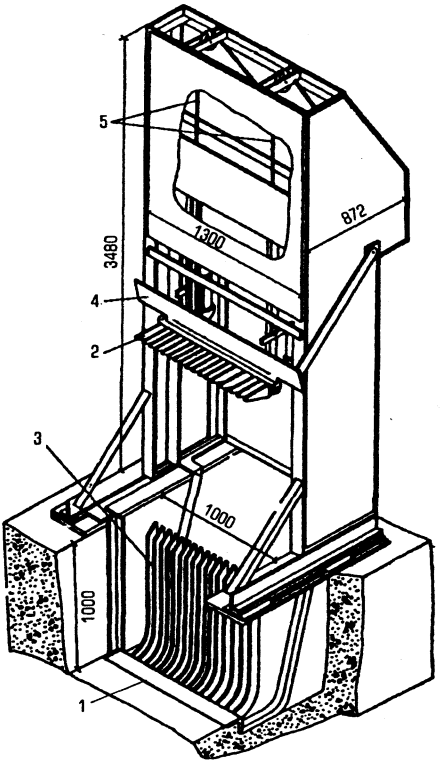


Рис. 11.3. Решетки с прозорами 6 мм (продольный разрез):
1 — подводящий канал; 2 — грабли; 3 — стержни решетки; 4 — сбрасыватель; 5 — канат

Работа по совершенствованию существующих технологических схем очистки была продолжена по двум основным направлениям:

- разработка и внедрение сит для фильтрации очищенных сточных вод, в частности направляемых на доочистку на фильтрах;
- внедрение процеживающего оборудования.

Процеживание очищенной сточной воды осуществлялось с помощью единственного выпускавшегося промышленностью аппарата для процеживания — барабанных сеток БСБ3×4,6, установленных перед фильтрами доочистки. Несмотря на проведенные усовершенствования, барабанные сетки обладали серьезными недостатками, к основным из которых можно отнести: невозможность выделения задерживаемых примесей, удаляемых с промывной водой; невысокую производительность; коррозию конструкций. Барабанная сетка (рис. 11.4) состоит из рамы, в которую вмонтирован процеживающий элемент — плоская щелевая сетка сборной конструкции с прозорами 1,4 мм, и механизма регенерации сетки, состоящего из плоских скребков, закрепленных на 2 пластинчатых бесконечных цепях, приводимых в движение мотор-редуктором. Задержанный на сетке мусор непрерывно снимается скребками и сбрасывается в сборный контейнер.

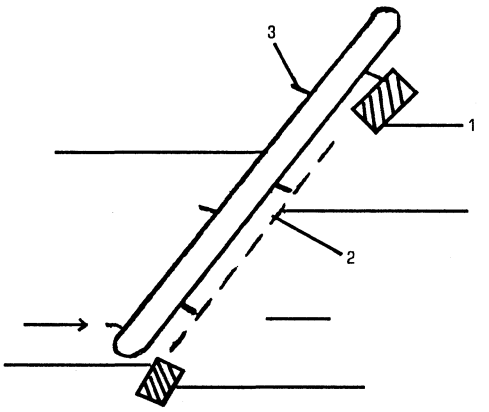


Рис. 11.4. Механизированные щелевидные сита:
1 — сборный контейнер; 2 — сито; 3 — скребки

Результаты применения механизированных щелевидных сит показали, что производительность плоского щелевого сита (333 тыс. $м^3$/сут) в 3 раза превосходит производительность барабанной сетки (110 тыс. $м^3$/сут), а при работе на свободный излив (без подпора со стороны фильтров) производительность сита может быть более 400 тыс. $м^3$/сут и потери напора на плоском сите значительно меньше, чем на барабанной сетке. Регенерация плоской сетки скребками происходит удовлетворительно: как тыльная сторона сетки, так и прозоры оставались чистыми, засорений и обрастания перемычек волокнистыми материалами не происходило. В табл. 11.2 приведены основные характеристики щелевидных сит.

Таблица 11.2

Характеристика щелевого сита

Показатель	*Значение*
Производительность сита, тыс. $м^3$/сут:	
средняя	333
максимальная	420
Потери напора, мм:	
средние	36
максимальные	92
минимальные	20
Удельное шламозадержание (по сухому веществу), г/$м^3$:	
среднее	0,036
максимальное	0,079
минимальное	0,015
Средняя влажность шлама, %	65,6
Средняя зольность шлама, %	4,6

В последние годы получили распространение самоочищающиеся решетки ступенчатого типа «Ротоскрин» (рис. 11.5), широко применяемые в зарубежной практике и на некоторых очистных сооружениях в России для процеживания как сточных вод, так и осадков. Процеживающая часть этих решеток состоит из двух чередующихся пакетов из параллельных пластин — стационарного и подвижного. Движение, совершаемое подвижными пластинами, приводит к тому, что они поднимают собранные продукты фильтрации на одну ступень вверх. В результате последовательных движений уловленные примеси поднимаются до точки выгрузки и попадают на транспортер.

В процессе эксплуатации решеток «Ротоскрин» были выявлены следующие недостатки конструкции механических решеток:

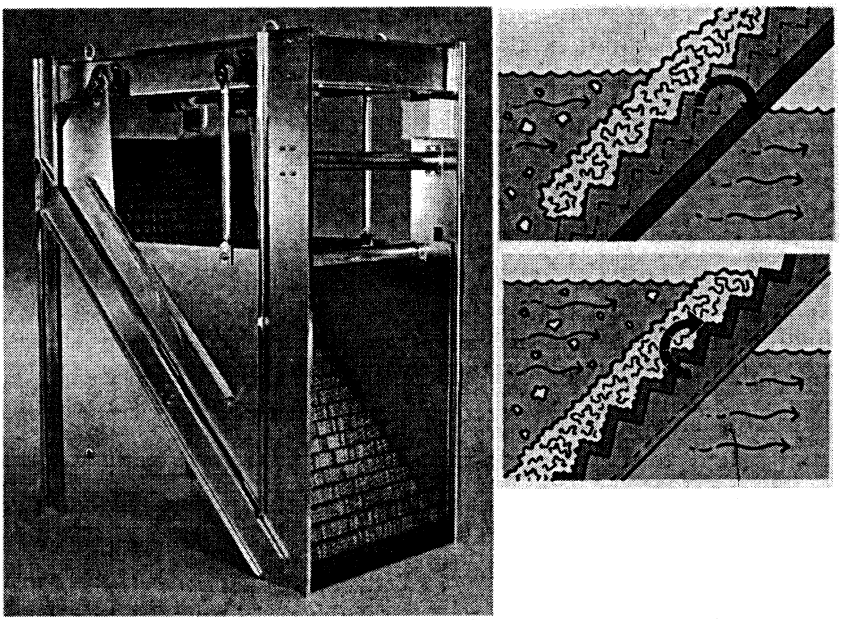


Рис. 11.5. Самоочищающаяся ступенчатая решетка «Ротоскрин»

- недостаточная продольная и поперечная жесткость фильтровальных пластин;
- непродолжительный ресурс работы подшипниковых узлов механизма;
- непродолжительный ресурс работы пластмассовых накладок.

На Ново-Люберецкой станции аэрации была установлена решетка для сточных вод *RS*-35 с прозорами 5 мм. В целом конструкция решетки достаточно надежна, однако в процессе эксплуатации были выявлены следующие недостатки:

- происходило образование «валка» из отбросов;
- разделительные прокладки между фильтровальными пластинами имеют недостаточную надежность;
- в нижней части решетки происходит ускоренный износ движущихся частей;
- аварийное продавливание фильтровальных пластин крупноразмерными, массивными предметами.

Устранение указанных выше недостатков возможно путем как улучшения конструкций решеток, так и совершенствования тех-

нологической схемы очистки (рис. 11.6). В приведенной схеме предполагается размещение перед основными мелкопрозорчатыми решетками решеток грубой очистки, исключающее аварийный проскок крупноразмерных массивных предметов. Располагающиеся вслед за ними песколовки предназначены для выделения из сточной воды только крупного песка, камней, щебня и гравия, перемещающихся в придонной части потока. Таким образом, введение дополнительных решеток и песколовок грубой очистки позволит создать наиболее благоприятные условия эксплуатации расположенных за ними мелкопрозорных решеток и песколовок, рассчитанных на удержание самых мелких фракций песка (0,07–0,1 мм), что, в свою очередь, обеспечит оптимальные условия удаления осадка из первичных отстойников и его перекачки в метантенки.

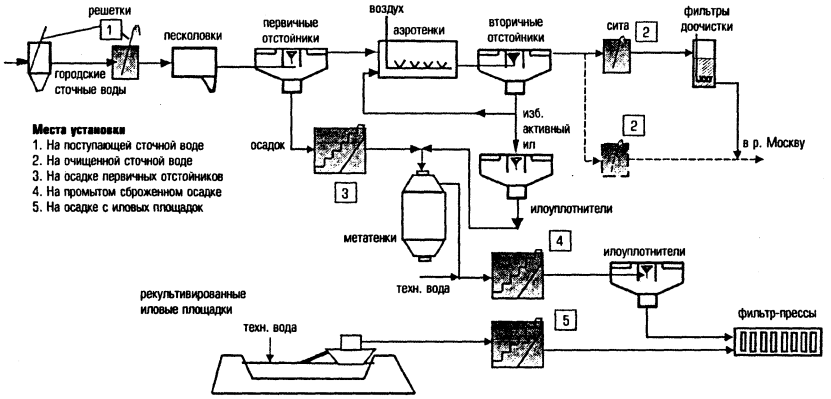


Рис. 11.6. Перспективная схема установки решеток и сит на станциях аэрации

11.2. ПЕСКОЛОВКИ

В сточных водах содержится значительное количество нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.). При совместном выделении минеральных и органических примесей в отстойниках затрудняется удаление осадка и уменьшается его текучесть. При этом могут происходить разделение осадка на тяжелую (песок с большой плотностью) и легкую (ор-

ганическую с небольшим удельным весом) части и накопление песка в отстойниках. Для удаления такого осадка требуются усиленные скребки. Осадок, содержащий песок, плохо транспортируется по трубопроводам, особенно самотечным. Песок накапливается и в метантенках, выводя из работы полезные объемы, предназначенные для сбраживания органических осадков. Производительность метантенков снижается, а выгрузка песка из них сопряжена с большими трудностями. Возможны затруднения в работе и последующих сооружений в случае попадания в них песка. Поэтому в составе очистных сооружений за решетками проектируются специальные сооружения, называемые песколовками. Они предназначены для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.). Выделение песка в них происходит под действием силы тяжести.

По направлению движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением жидкости, последние — на тангенциальные и аэрируемые.

Горизонтальные песколовки представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением (рис. 11.7). Другими важнейшими элементами песколовок являются: входная часть песколовки, представляющая собой канал, ширина которого равна ширине самой песколовки; выходная часть, представляющая собой канал, ширина которого сужена от ширины песколовки до ширины отводящего канала; бункер для сбора осадка, обычно располагаемый в начале песколовки под днищем. Возможно устройство бункера и над песколовкой.

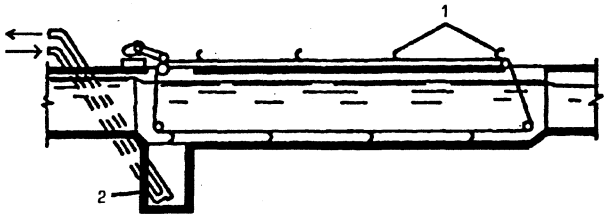


Рис. 11.7. Схема горизонтальной песколовки (продольный разрез):
1 — цепной скребковый механизм; 2 — гидроэлеватор

Песколовки имеют следующее оборудование: механизм для перемещения осадка в бункер; гидроэлеваторы и насосы для удаления осадка из песколовки и транспорта его к месту обезвоживания или другой обработки.

Механизмы применяются двух типов — цепные или тележечные. *Цепные механизмы* состоят из двух бесконечных цепей, расположенных по краям песколовки, с закрепленными на них скребками. У днища скребки перемещаются в сторону бункера, перемещая при этом осадок. *Механизмы тележечного типа* состоят из тележки, перемещаемой над песколовкой по двум рельсам или монорельсу вперед и назад, на которой подвешивается скребок. Механизмы для перемещения осадка сложны и ненадежны, так как эксплуатируются над водой во влажной среде.

Осадок в бункеры может перемещаться с помощью гидромеханических систем. Они представляют собой уложенные по днищу в лотках смывные трубопроводы со спрысками, сориентированными в сторону бункеров для сбора осадка. В этом случае бункеры выполняются в виде круглых тангенциальных песколовок. Схема песколовки с гидромеханической системой представлена на рис. 11.8. При подаче воды в гидромеханическую систему и истечении воды из спрысков осадок у днища разжижается (псевдоожижается), а затем смывается в сторону бункера. Взмучивания осадка не происходит; наоборот, идут подсос к днищу верхних слоев осадка и последующий смыв их в бункер.

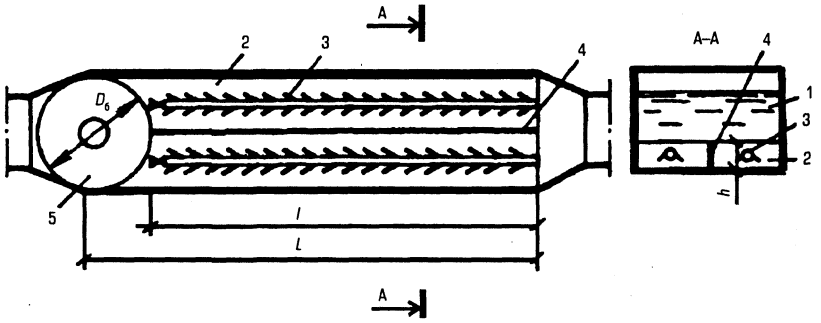


Рис. 11.8. Схема горизонтальной песколовки с гидромеханической системой удаления осадка:
1 — проточная часть песколовки; 2 — песковой лоток; 3 — смывной трубопровод; 4 — перегородка; 5 — песковой бункер

Стремление к упрощению выгрузки осадка из песколовок привело к созданию горизонтальной песколовки с круговым движением воды (рис. 11.9). Проточная часть песколовки в поперечном сечении имеет в верхней части прямоугольную форму, а в основании — треугольную со щелью внизу. Весь улавливаемый осадок проваливается через щель в осадочную часть, имеющую коническую форму. Для выгрузки осадка достаточно установки гидроэлеватора.

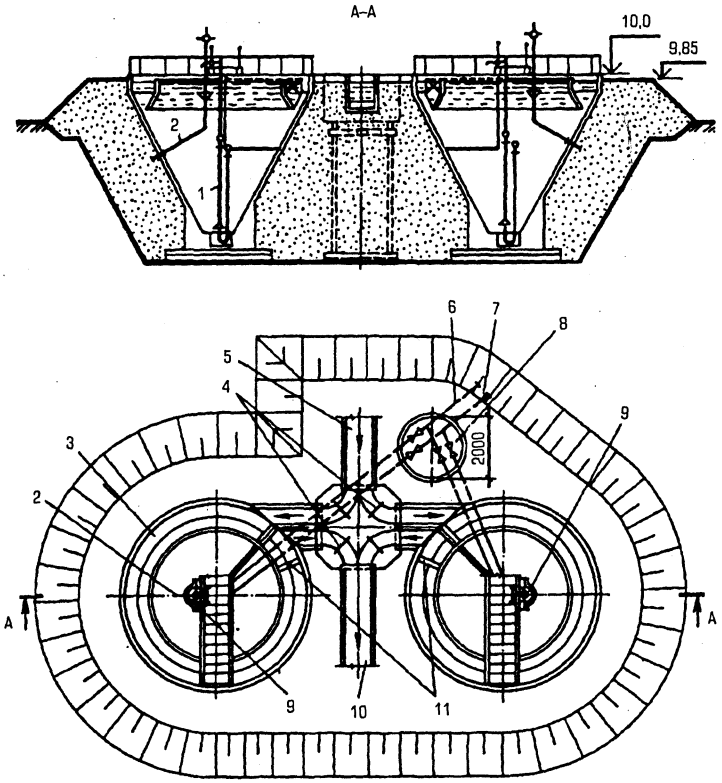


Рис. 11.9. Горизонтальная песколовка с круговым движением воды:
1 — гидроэлеватор; 2 — трубопровод для отвода всплывающих примесей;
3 — желоб; 4 — затворы; 5 — подводящий лоток; 6 — пульпопровод;
7 — трубопровод рабочей жидкости; 8 — камера переключения; 9 — устройство для сбора всплывающих примесей; 10 — отводящий лоток;
11 — полупогружные щиты

Вертикальные песколовки успешно эксплуатируют на ряде очистных станций. На Курьяновской станции аэрации построены вертикальные песколовки с вращательным движением жидкости (рис. 11.10). Они имеют цилиндрическую форму, а подвод воды — по касательной с двух сторон в основании. Конусная часть служит для сбора выпавшего осадка. Сбор и отвод воды осуществляют кольцевым лотком. При вертикальном движении воды вверх песок осаждается вниз. Следовательно, скорость восходящего потока жидкости должна быть меньше гидравлической крупности песчинок улавливаемого песка. Вертикальные песколовки удобны для накопления больших объемов осадка. Их целесообразно применять в полураздельных системах и на станциях очистки поверхностных вод.

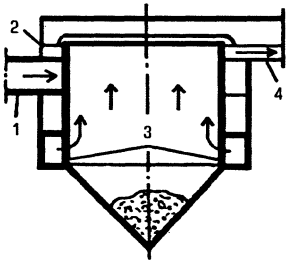


Рис. 11.10. Вертикальная песколовка с вращательным движением сточной воды:
1 — подводящий канал; 2 — сборный кольцевой лоток;
3 — ввод воды в рабочую зону; 4 — отводной канал

Тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане и касательный подвод воды к ним и обеспечивают в песколовках вращательное движение (на периферии вода движется вниз, а в центре — вверх). Оно способствует поддержанию в потоке органических примесей. При этом скорость вращательного движения невелика и не препятствует выпадению песка в осадок. На рис. 11.11 представлена тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой. В ней интенсифицируется вращательное движение жидкости, что способствует улавливанию песка с минимальным содержанием органических включений.

Аэрируемые песколовки имеют удлиненную форму в плане и прямоугольное, полигональное или близкое к эллиптическому поперечное сечение. На рис. 11.12 представлена аэрируемая песколовка с трапецеидальным поперечным сечением. Важнейшие

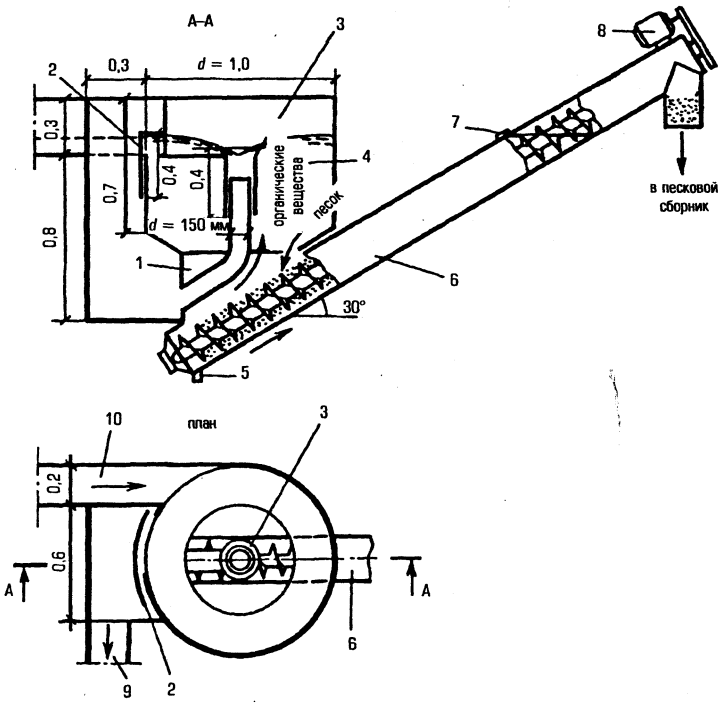


Рис. 11.11. Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой:
1 — осадочная часть; 2 — подвижный боковой водослив; 3 — телескопическая труба; 4 — рабочая часть; 5 — заглушка; 6 — шнек; 7 — отверстие для сбора органики; 8 — электропривод; 9 — отводящий лоток; 10 — подающий лоток

элементы песколовок: входная и выходная части, бункер для сброса осадка и песковой лоток. Последний расположен вдоль одной из продольных стенок сооружения. Днище песколовки в поперечном сечении имеет уклон в сторону лотка. Вдоль одной из стенок на глубине $^2/_3$ от общей гидравлической глубины расположен аэратор, выполненный из дырчатых труб. Песколовка оборудована гидромеханической системой удаления осадка, которая представляет собой смывной трубопровод со спрысками, уложенный по днищу пескового лотка. Для удаления осадка можно применять и скребковые механизмы.

Особенность аэрируемых песколовок заключается в том, что поток очищаемой воды непрерывно аэрируется. Благодаря расположению аэратора вдоль одной из стенок сооружения и над песковым лотком поток приобретает вращательное движение с пере-

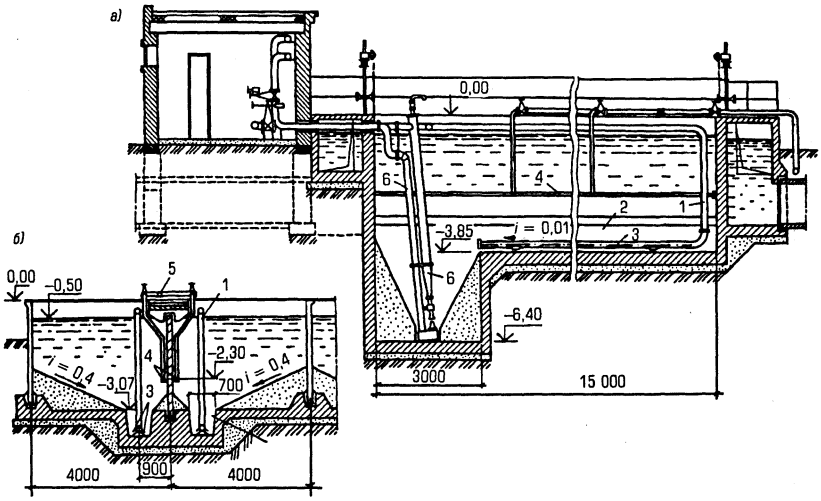


Рис. 11.12. Аэрируемая песколовка
с гидромеханической системой удаления осадка:
а, б — продольный и поперечный разрезы соответственно;
1 — трубопровод подачи промывной воды; 2 — песковой лоток; 3 — спрыски;
4 — аэратор; 5 — воздуховод; 6 — гидроэлеватор

мещением его у днища от одной стенки к другой и к песковому лотку. Вращательное движение обеспечивает и концентрацию осадка в песковом лотке, расположенном с одной стороны сооружения. При интенсивности аэрации 3–5 $м^3/(м^2 \cdot ч)$ скорость движения воды на периферии потока равна около 0,3 м/с. Продольная скорость движения воды принимается равной 0,02–0,10 м/с. Суммирование поступательного и вращательного движений приводит к винтовому движению. Даже значительное изменение расхода и поступательной скорости приводит к весьма незначительному изменению максимальной скорости винтового движения, так как вращательная скорость практически не изменяется, значительно и всегда превышает скорость поступательного движения. Таким образом, в аэрируемых песколовках скорость движения воды остается практически постоянной при значительных изменениях расхода. Это, в свою очередь, обеспечивает поддержание в потоке во взвешенном состоянии органических включений.

Аэрируемые песколовки одновременно могут использоваться для улавливания всплывающих загрязнений (жиров, нефтепродуктов и др.). При этом целесообразно вдоль всей песколовки

пристраивать специальное отделение для выделения и накопления на поверхности воды всплывающих загрязнений (рис. 11.13), которое отделяется от пескоулавливающего отделения полупогруженной решетчатой перегородкой. В этом отделении из практически спокойного потока эффективно отделяются всплывающие загрязнения и не попадают на последующие сооружения. Для их удаления отделение оборудуется периодически затопляемым бункером и отводящим трубопроводом.

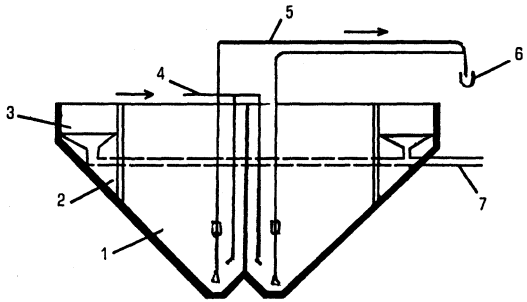


Рис. 11.13. Поперечный разрез аэрируемой песколовки с насосом для удаления осадка из пескового лотка:
1 — зона улавливания песка; 2 — щелевидная перегородка; 3 — зона улавливания жира и нефтепродуктов; 4 — подача воздуха; 5 — откачка песка насосом из пескового лотка; 6 — лоток отвода песковой пульпы; 7 — трубопровод отвода жира

По многолетним результатам эксплуатации считается, что для нормальной работы сооружений содержание песка в осадке первичных отстойников не должно превышать 3–6%. Для оценки работы песколовок важно содержание минеральной части в осадке песколовок; при анализе учитывался и этот показатель. Обобщенные данные анализа представлены в табл. 11.3.

Расчет горизонтальных и аэрируемых песколовок заключается в определении размеров их поперечного сечения и длины. Площадь живого сечения одного отделения песколовок ($м^2$) составит

$$F = q_{max}/vn, \qquad (11.4)$$

где q_{max} — максимальный расход сточных вод, $м^3/с$; v — продольная скорость движения воды, принимаемая в зависимости от расчетного диаметра улавливаемых частиц песка (табл. 11.4), м/с; n — количество отделений песколовок.

Таблица 11.3

Количество и состав песка, поступающего на очистные сооружения, и эффективность работы различных видов песколовок

Тип песколовок	Содержание песка в исходной сточной воде			Эффективность работы песколовок, %			Зольность осадка из песколовок, %
	общее, г/м³	в том числе, %		общая	по песку фракций		
		больше $d = 0{,}25$ мм	меньше $d = 0{,}25$ мм		больше $d = 0{,}25$ мм	меньше $d = 0{,}25$ мм	
Аэрируемые (1974–1987 гг.)	11,5–22,5 16,4	29,0–52,3 42,7	44,9–71,0 57,3	32,1–63,7 47,9	81,1–93,7 86,7	9,5–27,0 18,9	60,0–86,0 77,6
Вертикальные (1974–1987 гг.)	14,1–25,9 18,6	37,7–63,6 49,7	36,4–63,3 50,3	59,7–79,1 69,1	92,3–98,3 96,2	33,7–55,9 42,5	69,0–87,0 78,3
Горизонтальные (1961–1968 гг.)	19,5–56,3 33,7	48,2–77,8 68,7	22,2–51,8 31,3	74,9–86,3 80,7	98,0–98,4 99,1	17,0–64,0 43,3	74,0–93,0 88,7

Длину песколовок (м) определяют по формуле

$$L = K \cdot h_{max} \cdot v/u_0, \qquad (11.5)$$

где h_{max} — максимальная глубина проточной части песколовки, м; u_0 — гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, м/с; K — коэффициент, учитывающий влияние турбулентного потока.

Величина K определяется по формуле

$$K = u_0/(u_0^2 - \omega^2)^{0,5}, \qquad (11.6)$$

где $\omega = 0{,}05v$ — вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости.

Расчет вертикальных и тангенциальных песколовок производится из условия задержания частиц с расчетной гидравлической крупностью $v < u_0$. Площадь зеркала песколовки в плане (м²) составит

$$F_{план} = q_{max}/u_0 n, \qquad (11.7)$$

где n — количество песколовок.

Высота цилиндрической части песколовки (м) составит

$$h_ц = t \cdot v, \qquad (11.8)$$

где $v = u_0$; $t = 120$–180 с — продолжительность пребывания воды в песколовке.

В песколовках стенки песковых бункеров выполняют под углом 60° к горизонту для обеспечения сползания осадка при его откачке, которая осуществляется гидроэлеваторами (КПД = 0,15–0,2) или песковыми насосами (КПД = 0,7).

Таблица 11.4

Расчетные параметры песколовок

Диаметр частиц песка, мм	*Гидравлическая крупность u_0, мм*	*Продольная скорость движения воды в песколовках, м/с*	
		горизонтальных	*аэрируемых*
0,05	2,0	0,1–0,15	0,02–0,05
0,10	5,9	0,1–0,15	0,02–0,05
0,15	13,2	0,15–0,2	0,05–0,1
0,20	18,7	0,15–0,2	0,05–0,1

Бункеры для накопления осадка обычно располагаются в начале сооружений, где выпадает его наибольшее количество, а выгрузка осадка из сооружений осуществляется не реже 1 раза за 8–12 ч. Для перемещения осадка к бункеру со всей длины сооружения могут применяться скребковые механизмы.

Перспективным методом перемещения осадка к бункерам является применение гидромеханических систем. Для смыва осадка достаточно его незначительного расширения. Для этого восходящая скорость потока по всей площади осадка (площади днища и лотка сооружения) должна составлять $v = 0{,}63$ см/с (при эквивалентном диаметре зерен песка в осадке $d_{экв} = 0{,}05$ см).

Откачка осадка из приямков песколовок производится гидроэлеваторами, насосами и, реже, эрлифтами. Предварительно осадок в бункерах взмучивается. Выгрузка осадка производится не реже 1 раза в сутки. Обычно выгрузка производится 1 раз в смену (через 7–8 ч).

Выгружаемый из песколовок осадок, содержащий значительное количество органики, является опасным с санитарной точки зрения и требует специальной обработки. Новая технологическая схема обработки осадка, разработанная на кафедре водоотведения МГСУ, включает промывку осадка восходящим потоком воды и последующее разделение песка и органических включений на барабанном сетчатом сепараторе с одновременной промывкой осадка водой (рис. 11.14).

Для отмывки и обезвоживания песка применяются специальные бункеры, приспособленные для последующей погрузки песка в автотранспорт. Такие бункеры могут выполняться по типу тангенциальных песколовок. На практике чаще используют песковые площадки.

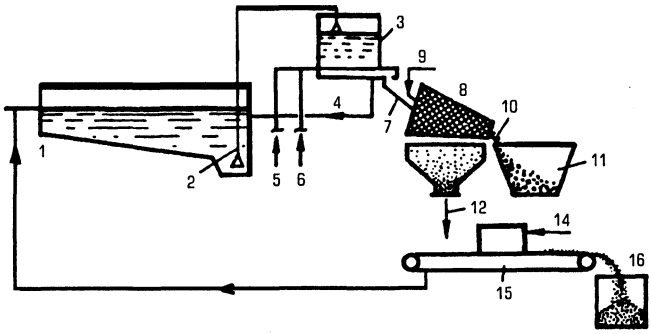


Рис. 11.14. Схема узла по обработке осадка из песколовок:
1 — песколовка; 2 — гидроэлеватор; 3 — пескопромыватель; 4 — возврат воды; 5 — промывная вода; 6 — воздух; 7 — осадок в барабанный сепаратор; 8 — барабанный сепаратор; 9 — промывная вода; 10 — органика из сепаратора; 11 — бункер для органики; 12 — песок; 13 — фильтрат; 14 — пропарочная камера для дезинфекции; 15 — ленточный вакуум-фильтр; 16 — обезвоженный песок

11.3. ОТСТОЙНИКИ

Отстаивание является самым простым, наименее энергоемким и дешевым методом выделения из сточных вод грубодиспергированных примесей с плотностью, отличной от плотности воды. Под действием силы тяжести частицы загрязнений оседают на дно сооружения или всплывают на его поверхность.

Относительная простота отстойных сооружений обусловливает их широкое применение на различных стадиях очистки сточной воды и обработки образующихся осадков. В зависимости от своего назначения и расположения в технологических схемах очистки сточных вод отстойные сооружения подразделяются на отстойники — первичные, вторичные и третичные (контактные резервуары), илоуплотнители, осадкоуплотнители.

Классификация отстойных сооружений по основным технологическим и конструктивным признакам приведена на рис. 11.15.

Первичные отстойники располагаются в технологической схеме очистки сточных вод непосредственно за песколовками и предназначаются для выделения взвешенных веществ из сточной воды, что при достигаемом эффекте осветления 40–60% приводит также к снижению величины БПК в осветленной сточной воде на 20–40% от исходного значения.

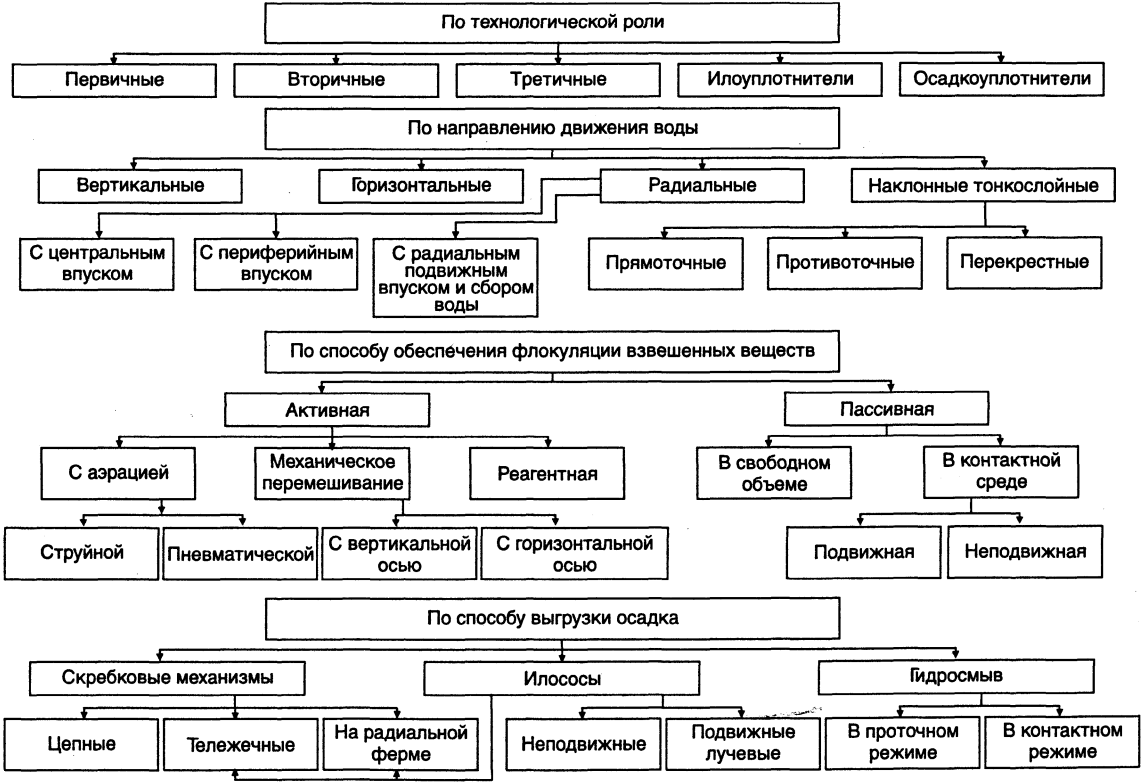


Рис. 11.15. Классификация отстойных сооружений

Взвешенные вещества, содержащиеся в городских сточных водах, имеющие преимущественно органическое происхождение, представляют собой полидисперсную агрегативно-неустойчивую систему с большим диапазоном изменения размеров частиц, обладающих хорошими адгезионными свойствами, что обусловливает их агломерацию при взаимных столкновениях в процессе осаждения (седиментации). Это изменяет форму, размеры, плотность и скорость осаждения частиц полидисперсного состава.

В практике проектирования и эксплуатации первичных отстойников широко распространено использование зависимостей эффекта осветления сточной воды от продолжительности ее отстаивания. Эффект осветления (%)

$$Э_t = (C_{en} - C_t) \cdot 100/C_{en}, \qquad (11.15)$$

где C_{en} — концентрация взвешенных веществ в неосветленной сточной воде, мг/л; C_t — концентрация взвешенных веществ в осветленной сточной воде, мг/л;

Для описания кинетики эффективности осветления сточных вод (%) широко используют эмпирическое уравнение вида

$$Э_t = (t_{set}/120)^{a/t} Э_{120}, \qquad (11.16)$$

где a — эмпирический коэффициент, зависящий от концентрации взвешенных веществ, их способности к агломерации и высоты слоя воды, в котором происходит осаждение; $Э_{120}$ — относительное содержание оседающих веществ в сточной воде к общей массе взвешенных веществ; $Э_{120} = (C_{en} - C_{120})100/C_{en}$ (здесь C_{120} — остаточное содержание взвешенных веществ после 120 мин отстаивания в покое).

Для расчета отстойников используют понятие условной гидравлической крупности взвеси, соответствующей заданному эффекту осветления U_0, мм/с, и определяемой из соотношения

$$U_0 = h_{set}/t_{set}. \qquad (11.17)$$

Для проектируемых отстойников условная гидравлическая крупность пересчитывается применительно к глубине отстаивания проектируемого отстойника:

$$U_0 = 1000 H_{set}/t_{set}(H_{set}/h_{set})^n. \qquad (11.18)$$

Основным условием расчета первичных отстойников является обеспечение задержания в них взвешенных веществ, гидравлическая крупность которых не меньше расчетной условной гидравлической крупности. При расчете отстойников следует учитывать особенности гидродинамического режима движения в них воды,

которые зависят от типа применяемого сооружения и определяются в основном условиями входа осветляемой воды в зону осветления, а также условиями сбора осветленной воды и выгрузки образующегося осадка.

Таким образом, в действующих первичных отстойниках условия флокуляции и осаждения взвешенных веществ в потоке движущейся сточной воды существенно отличаются от условий отстаивания в покое. Как следствие достигаемый в производственных условиях эффект снижения концентрации взвешенных веществ не превышает 50–60%, что бывает существенно ниже содержания оседающих веществ в исходной сточной воде, достигающего 60–80%. На рис. 11.16 приведены эксплуатационные данные работы первичных отстойников, которые показывают эффективность осветления сточной воды по изъятию взвешенных веществ и снижению БПК в диапазоне продолжительностей отстаивания 1,5–4 ч.

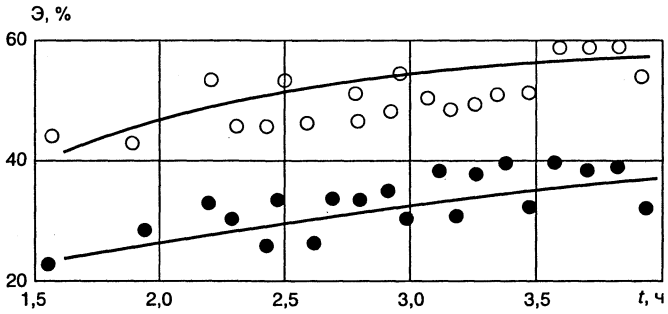


Рис. 11.16. Зависимость эффекта снижения концентрации взвешенных веществ (кривая 1) и БПК 5 (кривая 2) от продолжительности осветления

В действующих отстойниках гидродинамическая характеристика потока осветляемой воды определяется типом и конструкцией отстойного сооружения, скоростями и направлением впуска сточной воды в зону отстаивания, нагрузкой сточных вод на поверхность отстойника и нагрузкой собираемой осветленной воды на единицу длины водослива.

Горизонтальные отстойники представляют собой прямоугольные в плане резервуары, разделенные продольными перегородками на несколько отделений, в которых поток осветляемой воды, распределяемый по ширине сооружения с помощью лотка с впускными отверстиями, движется горизонтально в направлении водослива

сборного канала, расположенного с противоположного торца отстойника (рис. 11.17).

Выпадающий по длине отстойника осадок перемещается скребком в расположенные на входе в сооружение иловые приямки, откуда под гидростатическим напором выгружается в самотечный трубопровод с последующим его отводом на перекачивающую насосную станцию. Всплывающие нефтемасляные и жировые вещества собираются в конце сооружения в жиросборный лоток, из которого также самотеком отводятся на перекачку.

Достоинствами горизонтальных отстойников являются их относительно высокий коэффициент использования объема и достигаемый эффект осветления воды по взвешенным веществам — 50–60%, а также возможность их компактного расположения и блокирования с аэротенками. Недостатком горизонтальных отстойников является неудовлетворительная надежность работы используемых в них механизмов для сгребания осадка тележечного или цепного типа, особенно в зимний период. Использование в типовых проектах сооружений унифицированной ширины 6 и 9 м стеновых панелей позволяет проектировать горизонтальные отстойники с шириной, равной ширине аэротенков, и объединять эти сооружения в секции. В практике проектирования горизонтальные первичные отстойники широко используются в очистных сооружениях пропускной способностью 15–100 тыс. $м^3$/сут.

Вертикальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары с коническим днищем, в которых поток осветляемой воды движется в вертикальном направлении.

В зависимости от типа впускного устройства вертикальные отстойники подразделяются на следующие: с центральным впуском воды; с нисходяще-восходящим движением воды; с периферийным впуском воды.

В вертикальных отстойниках с центральным впуском сточная вода подводится лотком к центральной раструбной трубе, опускаясь по которой осветляемая вода отражается от конусного отражательного щита и поступает в зону осветления (рис. 11.18). В восходящем потоке осветляемой воды происходит флокуляция частиц взвеси и образующиеся агломерации взвеси, гидравлическая крупность которых u_0 превосходит скорость восходящего вертикального потока $v_{верт}$, выпадают в осадок. Более мелкая взвесь, для которой $u_0 < v_{верт}$, выносится с восходящим потоком воды. Для городских сточных вод скорость восходящего потока составляет 0,5–0,7 мм/с.

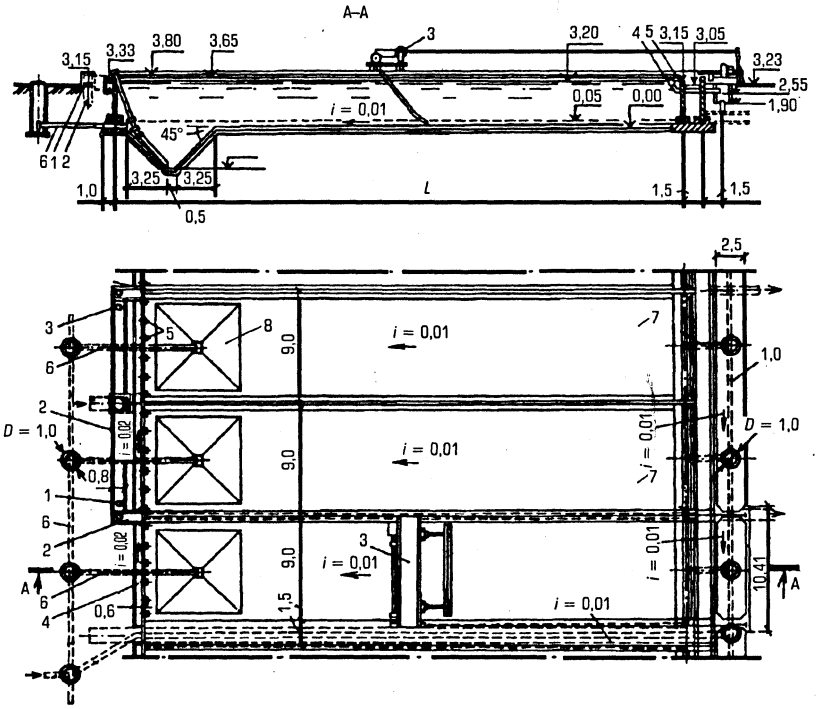


Рис. 11.17. Горизонтальный отстойник:
1 — подводящий лоток; 2 — впускные отверстия; 3 — скребковая тележка; 4 — жиросборный лоток; 5 — водосборный водослив; 6 — трубопровод выпуска осадка и опорожнения; 7 — отстойная зона; 8 — осадочный бункер

Осветленная вода собирается периферийным сборным лотком, высота гребня водослива которого определяет уровень воды в отстойнике. Всплывающие вещества жирового состава собираются в центре отстойника кольцевым лотком, из которого отводятся трубопроводом в самотечную иловую сеть. Выпадающий осадок накапливается в иловой конусной части отстойника, из которой удаляется под гидростатическим напором 1,5–2,0 м через иловую трубу в самотечную иловую сеть. Объем иловой части рассчитывается на двухсуточный объем образующегося осадка. Влажность выгружаемого осадка составляет 95%. Достоинствами вертикальных первичных отстойников являются простота их конструкции и удобство в эксплуатации; недостатками — большая глубина сооружений, что ограничивает их максимальный диаметр — 9 м,

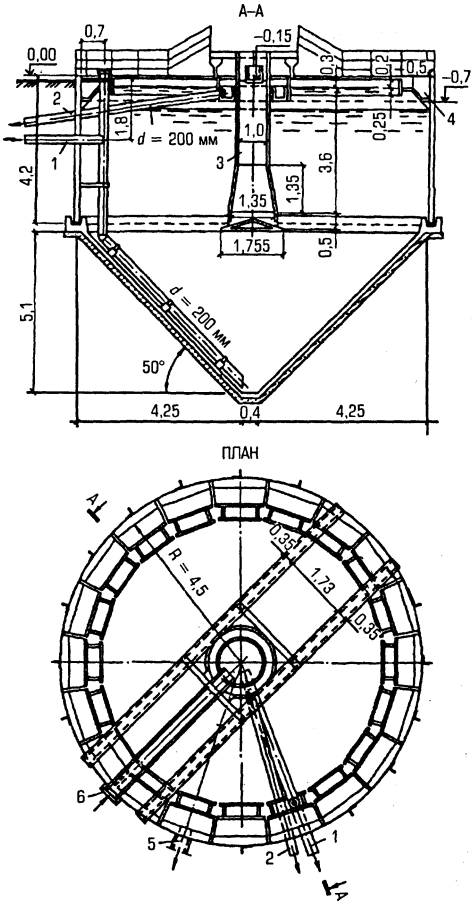


Рис. 11.18. Первичный вертикальный отстойник из сборного железобетона: 1 — иловая труба для выпуска осадка; 2 — жиропровод для выпуска всплывающих веществ; 3 — центральная впускная труба с отражателем; 4 — сборный лоток осветленной воды; 5 — отводящий лоток; 6 — подводящий лоток

а также невысокая эффективность осветления воды (обычно не превышающая 40% по снятию взвешенных веществ).

Более совершенными с технологической точки зрения являются вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим потоком осветляемой воды (рис. 11.19). В отстойнике этого типа зона осветления разделена полупогружной перегородкой на две равные по площади зеркала воды части.

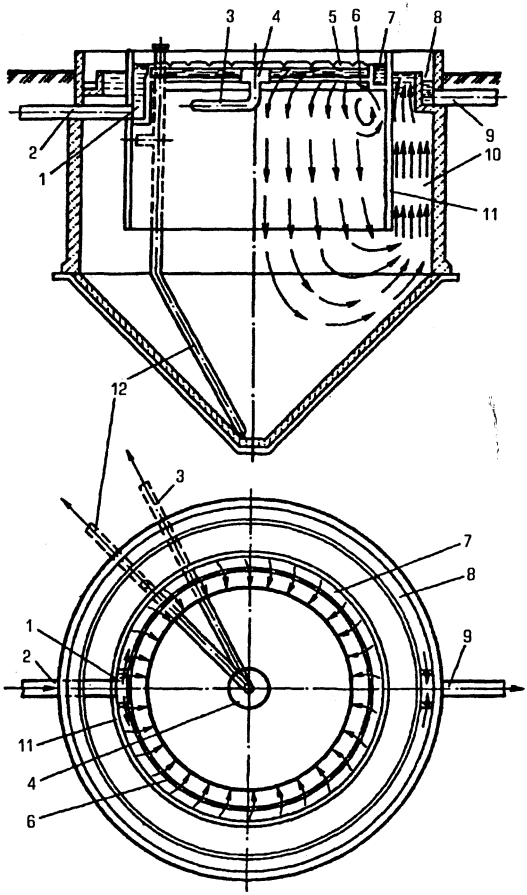


Рис. 11.19. Первичный вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим потоком:
1 — приемная камера; 2 — подающий трубопровод; 3, 4 — трубопровод и воронка соответственно для удаления плавающих веществ; 5 — зубчатый распределительный водослив; 6 — отражательный козырек; 7 — распределительный лоток; 8 — периферийный сборный лоток осветленной воды; 9 — *отводящий трубопровод*; 10 — *кольцевая зона восходящего движения*; 11 — кольцевая перегородка; 12 — трубопровод для выпуска осадка

Сточная вода поступает в центральную часть по лотку или трубопроводу и через зубчатый водослив отражательным козырьком распределяется по площади зоны осветления, где происходит нисходящее движение потока осветляемой воды, обеспечивающее лучшее совпадение направлений векторов движения потока воды и выпадения агломерирующейся взвеси, чем в типовых вертикаль-

ных отстойниках с центральной распределительной трубой. Основная масса взвешенных веществ успевает выпасть в осадок до поступления потока осветляемой воды в кольцевую зону восходящего движения, где происходит доосветление воды, которая собирается периферийным сборным лотком.

Коэффициент использования объема в этих отстойниках повышается до 0,65, и эффективность осветления воды по снижению концентрации взвешенных веществ достигает 60–65%.

Осадок под действием гидростатического давления выгружается через центральный илопровод. Всплывающие вещества удаляются из центральной части через приемную воронку и самотечный трубопровод.

Простота конструкции вертикальных отстойников обусловила их широкое применение на очистных сооружениях средней пропускной способностью 2,0–15,0 тыс. $м^3$/сут.

Радиальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары, в которых сточная вода подается в центр отстойника и движется радиально от центра к периферии (рис. 11.20). Скорость движения осветляемой воды изменяется от максимальных значений в центре до минимальных на периферии радиального отстойника. Взвешенные вещества, выпадающие в осадок из движущегося потока осветляемой воды, перемещаются в иловый приямок скребками, размещенными на вращающейся ферме. На этой же ферме расположено подвесное устройство, сгребающее всплывающие на поверхность вещества к жиросборнику, из которого они отводятся на перекачку. Осадок удаляется с помощью плунжерных и центробежных насосов, что обеспечивает снижение его влажности до 93,0–93,5%. Радиальные первичные отстойники обеспечивают задержание 50–55% взвешенных веществ.

Разработанные типовые проекты радиальных отстойников диаметром 18–50 м позволяют использовать их на очистных сооружениях практически любой пропускной способности, начиная с 20 тыс. $м^3$ в сут.

Метод технологического расчета первичных отстойников по СНиП заключается в выборе типа и необходимого числа типовых сооружений, обеспечивающих требуемый эффект осветления.

Требуемая эффективность снижения концентрации взвешенных веществ при первичном осветлении воды в отстойнике $Э_t$, %, рассчитывается по формуле (11.16):

$$Э_t = (C_{en} - C_t)100/C_{en},$$

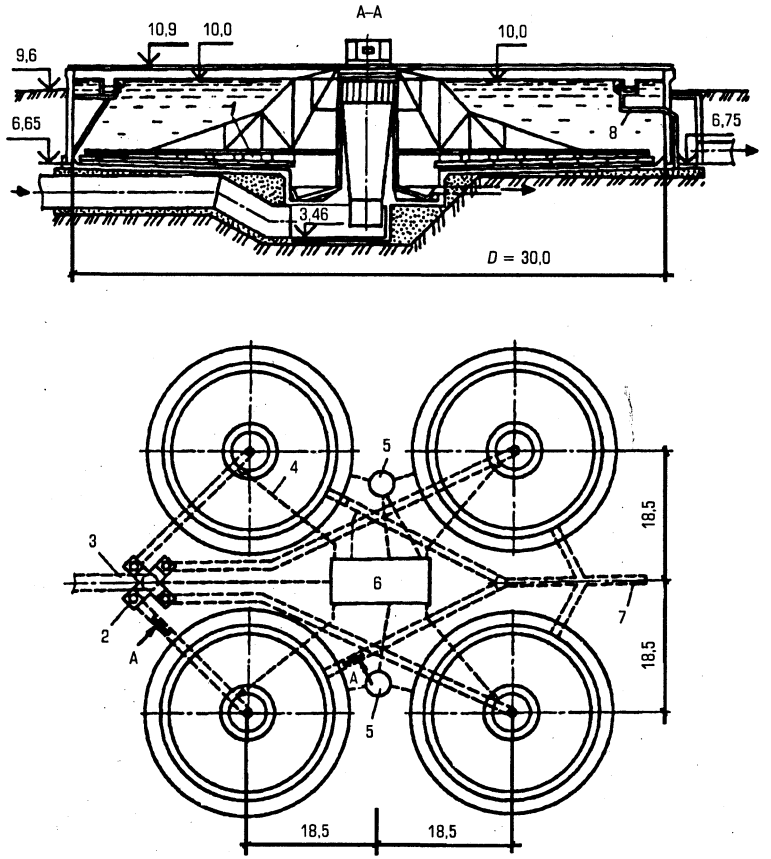


Рис. 11.20. Первичные радиальные отстойники:
1 — илоскреб; 2 — распределительная камера; 3 — подводящий трубопровод; 4 — трубопровод выгрузки осадка; 5 — жиросборник; 6 — насосная станция перекачки осадка; 7 — трубопровод отвода осветленной воды; 8 — жиропровод

где C_t — концентрация взвешенных веществ в воде после первичного отстаивания, мг/л, принимаемая равной 100–150 мг/л.

Для достижения требуемого эффекта осветления при ближайшей соответствующей начальной концентрации взвешенных веществ определяется необходимая продолжительность отстаивания воды в покое t_{set} путем интерполяции данных:

$$t_{set} = t_{set(n)} + (t_{set(n+1)} - t_{set(n)}/Э_{n+1} - Э_n)(Э_{тр} - Э_n), \qquad (11.19)$$

где $t_{set(n)}$ и $t_{set(n+1)}$ — продолжительность отстаивания, соответствующая эффективности осветления $Э_n$ и $Э_{n+1}$, в интервале которых находится $Э_{тр}$, при условии, что $Э_n < Э_{тр} < Э_{n+1}$.

Если $t_{set} >$ (30–40) мин, то это свидетельствует, что данный эффект осветления приходится на пологую часть кривой кинетики осветления (черт. 2 СНиПа) и его достижение без предварительной интенсификации процесса осаждения приведет к завышению объемов отстойников.

Условная гидравлическая крупность u_0, мм/с, взвешенных веществ, которую необходимо обеспечить при отстаивании в покое при высоте осветления, равной глубине проточной части отстойника, рассчитывается по формуле, рекомендуемой действующим СНиП:

$$u_0 = 1000H_{set}/t_{set}(H_{set}/h_{set})^n, \qquad (11.20)$$

где H_{set} — глубина проточной части отстойника, м, принимаемая предварительно на основе возможных глубин типовых отстойников, принимаемых в зависимости от их выбранного типа; h_{set} — глубина при отстаивании в покое, принимаемая равной 0,5 м; n — показатель степени, зависящий от способности взвешенных веществ к агломерации, принимаемый по рис. 11.21.

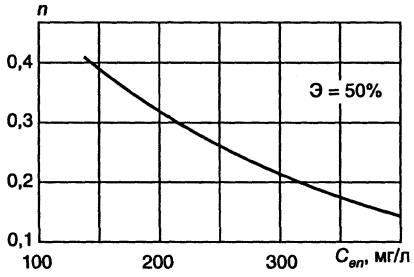


Рис. 11.21. Зависимость *n* от начальной концентрации взвешенных веществ

Необходимая продолжительность осветления воды в отстойнике, *c*, рассчитывается по формуле

$$t_{отс} = 1000H_{set}/K_{set}u_0, \qquad (11.21)$$

где K_{set} — коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от выбранного типа первичных отстойников.

Расчетный объем первичных отстойников $W_{рас}$, м^3, определяется по формуле

$$W_{рас} = q_{max}t_{отс}/3600. \quad (11.22)$$

Исходя из выбранного типа отстойников и их возможной компоновки в схеме очистной станции принимаются необходимое число проектируемых отстойников $K_{отс}$ и их размеры, которые наиболее близко соответствуют величине $W_{рас}$, и определяется фактический расход воды $q_{факт}$, м^3/ч, на один отстойник:

$$q_{факт} = q_{max}/K_{отс}. \quad (11.23)$$

Фактическая средняя скорость потока $v_{ср}$, мм/с, в горизонтальном отстойнике шириной B составит

$$v_{ср} = q_{факт}1000/BH_{факт}3600. \quad (11.24)$$

Для радиального или вертикального отстойника средняя скорость потока $v_{ср}$, мм/с, определяется на половине радиуса отстойника для $D_{ср} = d_{факт}/2$:

$$v_{ср} = q_{факт}1000/\pi D_{ср}H_{факт}3600. \quad (11.25)$$

Определяется вертикальная составляющая турбулентной пульсации ω, мм/с, в отстойнике:

$$\omega = 0{,}05v_{ср}. \quad (11.26)$$

Рассчитывается фактическая продолжительность отстаивания воды $t_{факт}$, ч, в первичном отстойнике:

$$t_{факт} = W_{факт}/q_{max}. \quad (11.27)$$

Определяется гидравлическая крупность взвешенных веществ $u_{отс}$, мм/с, задерживаемых в отстойнике принятых размеров и типа:

$$u_{отс} = 1000H_{факт}/K_{set}t_{факт}3600. \quad (11.28)$$

С учетом поправок на вертикальную составляющую турбулентной пульсации ω и увеличение вязкости воды μ при ее температуре в производственных условиях в зимний период, отличной от лабораторной ($T_{лаб} = 20$ °С), определяется фактическая гидравлическая крупность задерживаемых взвешенных веществ $u_{факт}$, мм/с:

$$u_{факт} = \mu_{пр}u_{отс}/\mu_{лаб} + \omega, \quad (11.29)$$

где $\mu_{пр} = 1 + 0{,}0337T$ — динамическая вязкость сточной воды, г/(см · с).

Из формулы (11.23) определяется лабораторная продолжительность отстаивания в покое $t_{лаб}$, с, соответствующая фактической условной гидравлической крупности $u_{факт}$ и фактической глубине отстаивания $H_{факт}$:

$$t_{лаб} = 1000H_{факт}/u_{факт}(H_{факт}/h_{set})^n. \quad (11.30)$$

Путем интерполяции определяется фактический эффект осветления $Э_{факт}$, %, соответствующий продолжительности отстаивания $t_{лаб}$:

$$Э_{факт} = Э_n + (Э_{n+1} - Э_n)(t_{лаб} - t_n)/t_{set(n+1)} - t_{set(n)}, \quad (11.31)$$

где $t_{set(n)} < t_{лаб} < t_{set(n+1)}$.

Концентрация взвешенных веществ C_t, мг/л, в осветленной воде

$$C_t = C_0(1 - 0{,}01 \cdot Э_{факт}). \quad (11.32)$$

Эффективность снижения БПК в первичных отстойниках составляет $Э_{БПК} = 0{,}6Э_{факт}$ и в осветленной воде будет равна

$$L_t = L_0(1 - Э_{БПК}). \quad (11.33)$$

Масса сухого вещества $M_{сух}$, т/сут, уловленного за сутки осадка составит

$$M_{сух} = C_0(0{,}01 \cdot Э_{факт})KQ/(1000 \cdot 1000), \quad (11.34)$$

где Q — расход сточных вод, м^3/сут; $K = 1{,}2$ — коэффициент, корректирующий массу загрязнений, не учитываемых при анализе взвешенных веществ.

Объем осадка, выгружаемого из отстойников за сутки $W_{ос}$, м^3/сут:

$$W_{ос} = 100 \cdot M_{сух}/(100 - B_{ос})\rho, \quad (11.35)$$

где $B_{ос}$ — влажность осадка, %, принимаемая 93–95%; ρ — плотность осадка, т/м^3.

Интенсификация первичного осветления сточных вод. В получивших распространение первичных отстойниках задерживается обычно 40–50% взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах. Вместе с тем при начальной концентрации взвешенных веществ не менее 300–400 мг/л, характерной для режимов экономного водопотребления, необходимый эффект первичного осветления может достигать 70–75%. В противном случае неизбежен повышенный прирост избыточного активного ила, имеющего больший фактический объем и меньшую влагоотдачу при последующем обезвоживании. В условиях формирования многоком-

понентных городских сточных вод очень часто также образуется тонкодисперсная взвесь, в которой содержание оседающих веществ не превышает 30–50%. В указанных выше случаях для обеспечения требуемой эффективности первичного осветления необходимо интенсифицировать процесс осаждения взвешенных веществ.

Обширные исследования, проведенные за последние годы в нашей стране и за рубежом, позволили разработать и испытать различные методы интенсификации процессов отстаивания сточных вод и уплотнения образующихся осадков (рис.11.22). Однако из известных методов интенсификации первичного отстаивания наибольшее распространение для очистки городских сточных вод получили методы, связанные с использованием биофлокулирующих свойств избыточного активного ила и биопленки, имеющих в своем составе внеклеточные биополимеры, обусловливающие пространственное структурирование и биофлокуляцию клеточных образований.

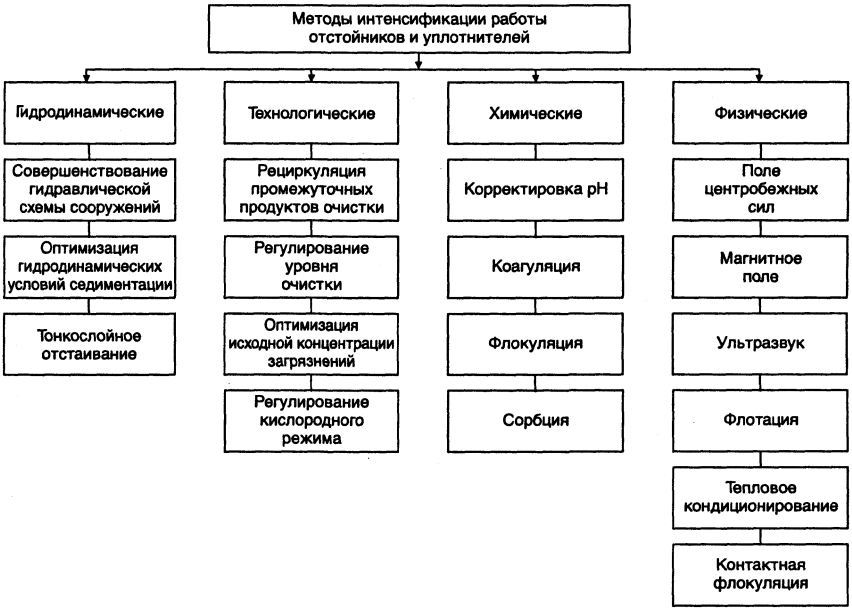


Рис. 11.22. Методы интенсификации работы отстойников и илоуплотнителей

Глава 12
СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

12.1. БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДАМИ АЭРАЦИИ

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов. Микроорганизмы, как известно, обладают рядом особых свойств, из которых следует выделить три основных, широко используемых для целей очистки:

1) способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования;

2) свойство быстро размножаться. В среднем число бактериальных клеток удваивается через каждые 30 мин;

3) способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после завершения процессов изъятия содержавшихся в ней загрязнений.

В живой клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса — распад молекул (катаболизм) и их синтез (анаболизм), составляющие в целом процесс обмена веществ — метаболизм. Иными словами, процессы деструкции потребляемых микроорганизмами органических соединений неразрывно связаны с процессами биосинтеза новых микробиальных клеток, различных промежуточных или конечных продуктов, на проведение которых расходуется энергия, получаемая микробиальной клеткой в результате потребления питательных веществ.

Механизм изъятия из сточных вод органических веществ носит весьма сложный и многоступенчатый характер взаимосвязанных и последовательных биохимических реакций.

При очистке сточных вод, содержащих смесь разнообразных по химическому составу загрязнений, биомасса, осуществляющая очистку, представляет собой сообщество различных видов микро-

организмов и простейших со сложными отношениями между ними на уровне ферментативных реакций. В аэротенках микробиальная масса пребывает во взвешенном в жидкости состоянии в виде отдельных хлопьев, которые представляют собой зооглейные скопления микроорганизмов, простейших и более высокоорганизованных представителей фауны (коловратки, черви, личинки насекомых, а также водных грибов и дрожжей).

Биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде, получил название *активного ила*. Основная роль в нем принадлежит группам бактерий, способным не только извлекать из сточной воды взвешенные и органические вещества, но и самоорганизовываться в колонии — хлопья, легко отделяемые затем от очищенной воды отстаиванием или флотацией. *Активный ил* — скопление микроорганизмов, в которых клетки окутаны *«паутиной»* растворимых или слаборастворимых внеклеточных полимерных образований.

С инженерной точки зрения определяющим для технологического и конструктивного оформления процесса биологической очистки является скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды в процессе биохимических реакций. Среди основных закономерностей развития колоний микроорганизмов можно выделить следующие фазы (рис. 12.1).

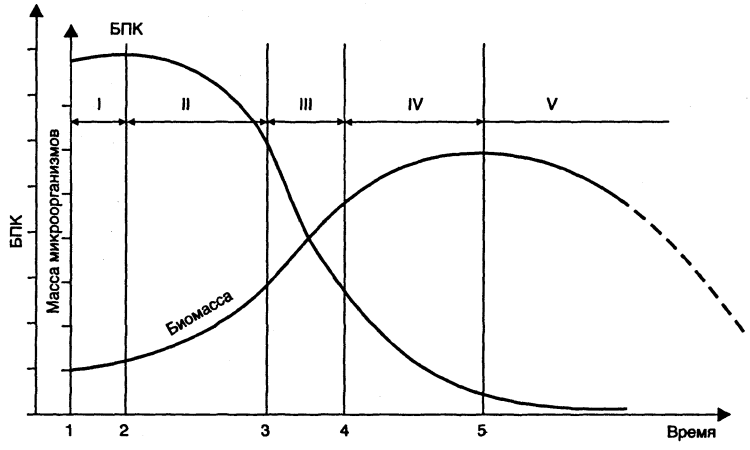


Рис. 12.1. Зависимость прироста биомассы в аэробных условиях от концентрации питательных веществ

I. Лаг-фаза, или фаза адаптации, которая наблюдается сразу после введения микробиальной культуры в контакт с питательной средой и в которой практически не происходит прироста биомассы.

II. Фаза экспоненциального роста (фаза ускоренного роста) микроорганизмов, в которой избыток питательных веществ и отсутствие (или весьма незначительное присутствие) продуктов обмена веществ способствуют поддержанию максимально возможной в данных условиях скорости размножения клеток.

III. Фаза замедленного роста, в которой скорость роста биомассы начинает все более сдерживаться по мере истощения питательных веществ и накопления продуктов метаболизма в культуральной среде.

IV. Фаза нулевого роста (или прекращения роста), в которой наблюдается практически стационарное состояние в количестве биомассы, которое свидетельствует о равновесии между наличием питательных веществ и накопленной биологической массой.

V. Фаза эндогенного дыхания (или фаза самоокисления), в которой из-за недостатка питания начинаются отмирание и распад клеток, ведущие к снижению общего количества биомассы в биологическом реакторе.

Из рис. 12.1 видно, что отмеченным фазам роста микробиальной массы соответствует и динамика изменения концентрации питательных веществ, выраженных через БПК. Это позволяет сделать следующие выводы:

- при биологической очистке значительная часть загрязнений сточных вод в результате метаболической активности микроорганизмов и сорбционной способности активного ила превращаются в биологическую массу, сравнительно легко отделимую от очищенной воды;
- длительность изъятия и окисления содержащихся в сточной воде органических загрязнений будет тем короче, чем дольше масса микроорганизмов будет в контакте с ними;
- при уменьшении содержания органических веществ в очищаемой жидкости ниже определенного предела жизнедеятельность микроорганизмов продолжается, но уже либо за счет накопленных питательных веществ, либо за счет их собственной массы, т.е. отмирания и окисления микроорганизмов со снижением общей их массы (процесс самоокисления).

Важнейшей характеристикой биологического окисления в аэротенках является *нагрузка загрязнений на ил*. Под ней понимается

количество поступающих со сточной водой загрязнений в мг или г загрязнения (ХПК, БПК или любого другого загрязнения) на 1 г сухого вещества ила в 1 ч или в 1 сут.

Доза активного ила a_i — концентрация его в аэротенке, которая выражается в граммах сухого вещества ила в 1 л или в 1 м^3 иловой смеси. Нагрузку на активный ил по БПК можно представить в виде зависимости

$$q_i = L_{en}/a_i\,(1 - s)t_{at}, \qquad (12.1)$$

где L_{en} — БПК поступающей в аэрационное сооружение сточной жидкости, мг/л или г/м^3; s — зольность ила, доли единицы; a_i — доза ила, выражаемая в г/л, если БПК выражена в мг/л или в г/м^3; t_{at} — длительность пребывания жидкости в аэрационном сооружении.

При полной биологической очистке $БПК_{полн}$ после отделения активного ила составляет 12–20 мг/л. Разница между поступающей в аэротенк $БПК_{полн}$ и выходящей из него называется снятой $БПК_{полн}$. Отношение снятой $БПК_{полн}$ к массе ила и длительности аэрации представляет удельную скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды, т.е. скорость очистки, определяется в мг или г $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч:

$$\rho_i = (L_{en} - L_{ex})/a_i(1 - s)t_{at}. \qquad (12.2)$$

Удельная скорость изъятия загрязнений устанавливается экспериментальным путем. Если органическая нагрузка q_i превышает 0,5 г $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества, то аэротенк считается высоконагруженным; если нагрузках q_i находится в пределах 0,15–0,5 г $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки — средненагруженным, а при q_i в пределах ~ 0,065–0,15 г $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки — низконагруженным. При нагрузках менее ~ 0,065 г БПК на 1 г беззольного вещества ила имеет место так называемая продленная аэрация, при которой происходит самоокисление определенного количества активного ила.

Разделение активного ила от очищенной сточной воды осуществляется в основном гравитационным путем, т.е. отстаиванием; при этом активный ил осаждается на дно отстойного сооружения и несколько уплотняется, после чего может быть возвращен в аэрационное сооружение. Степень осаждаемости активного ила определяется понятием *«иловый индекс»*. Хорошо оседающий ил имеет иловый индекс от 60–90 до 120–150 мл/г. Как перегрузка, так и недогрузка активного ила по загрязнениям (помимо прочих фак-

торов) приводят к резкому увеличению илового индекса, названному *«вспуханием»* ила, и повышенному выносу его с очищенной сточной водой. Доза активного ила в аэрационных сооружениях может колебаться в пределах 3–5 г/л — при продленной аэрации; 3–4 г/л — при низких нагрузках на ил; 2,5–3,5 г/л — при средних и 2–3 г/ л — при высоких нагрузках.

Для оценки работы аэрационных сооружений имеет важное значение окислительная мощность. Математическое выражение этой величины представляет собой произведение дозы ила (в пересчете на беззольное вещество) на скорость очистки, т.е.

$$OC_{at} = 24a_i(1 - S)\rho_i, \qquad (12.3)$$

где ρ_i — $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества в 1 ч.

В зависимости от технологического режима его работы окислительная мощность аэротенков может составлять от 0,3 кг $БПК_{полн}$ до 2–3 кг $БПК_{полн}$ на 1 м^3 сооружения. Важной характеристикой активности ила является возраст ила, под которым понимается средняя продолжительность его пребывания в сооружениях биологической очистки.

В аэротенке поддерживается определенная для данных условий концентрация ила, поэтому прирастающая масса ила должна своевременно удаляться из системы биологической очистки. Эту массу ила, т.е. прирост ила, называют *избыточным активным илом.* Масса ила, возвращаемая из сооружения илоотделения в аэротенки, получила название *циркуляционного активного ила.*

Опыт эксплуатации аэрационных сооружений показывает, что оптимальная активность ила обеспечивается при его возрасте в 2–5 сут.

Эффективность работы аэрационных сооружений оценивается на основе лабораторных анализов по следующим показателям: по $БПК_{полн}$ (ХПК) в неочищенной сточной воде, приросту ила, $БПК_{полн}$ очищенной воды, азоту аммонийному, нитритам, нитратам, соединениям фосфора, взвешенным веществам (после отделения ила), по дозе ила, концентрации растворенного кислорода, температуре, pH. Работа аэрационных сооружений оценивается также такими энергетическими показателями, как расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений, например кВт · ч на 1 кг $БПК_{полн}$ (или ХПК); расход энергии или воздуха на очистку 1 м^3 сточной воды. Для вывода аэротенка в расчетный режим работы требуются 2–4 недели и более, для ускорения пуска в работу аэротенков практикуется завоз некоторого количества активного

ила из расположенных поблизости действующих очистных сооружений.

12.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

Функционирование аэротенков обеспечивается тем, что после отделения от очищенной воды в сооружениях во вторичных отстойниках (илоотделителях) в аэротенк возвращается лишь то количество ила, которое поддерживает его расчетную рабочую дозу в нем. Активный ил в проточных условиях постоянно циркулирует между аэротенками и сооружениями — вторичными отстойниками (илоотделителями). Избыточный активный ил удаляется из системы аэротенк — илоотделитель на обработку и ликвидацию.

Классическая схема очистки сточных вод в аэротенках включает аэрационные и отстойные сооружения, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточных вод по аэротенкам, сбора и подачи иловой смеси на илоотделение, отведения очищенной воды, обеспечения возврата в аэротенки циркуляционного активного ила и удаления избыточного ила, подачи и распределения воздуха в аэротенках (рис. 12.2).

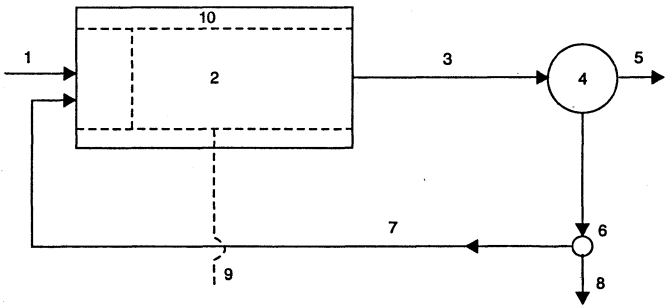


Рис. 12.2. Классическая схема биологической очистки сточных вод: 1 — сточная вода после первичных отстойников; 2 — аэротенк; 3 — иловая смесь из аэротенков; 4 — вторичный отстойник; 5 — очищенная вода; 6 — иловая камера; 7, 8 — циркуляционный и избыточный активный ил соответственно; 9 — воздух из воздуходувок; 10 — аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке

Концентрация ила из отстойных сооружений в 2–4 раза выше дозы ила, поддерживаемой в аэротенке, поэтому циркуляционный

расход его может составлять 30–60% расхода поступающей на очистку сточной воды.

Аэротенки по технологической схеме работы разделяются:

1) по гидравлическому режиму движения иловой смеси вдоль сооружения — на аэротенки-вытеснители, где более ранняя порция иловой смеси вытесняется вновь поступившей, благодаря чему такие аэротенки получили название аэротенков-вытеснителей (рис. 12.3);

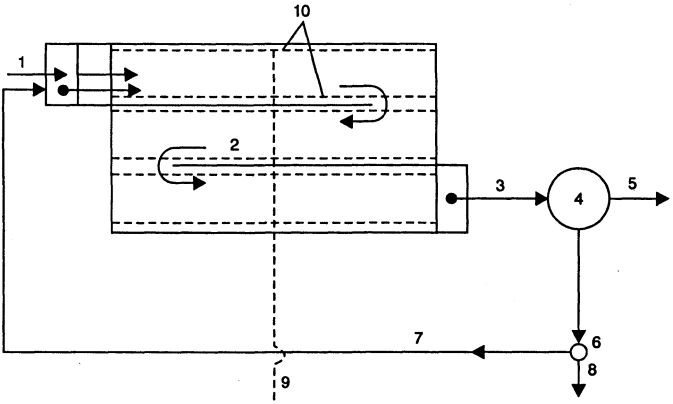


Рис. 12.3. Аэротенк-вытеснитель (см. позиции на рис. 12.2)

2) аэротенки продольного секционирования с поперечными перегородками, не доходящими то до дна, то до уровня воды, не доходящими либо до дна (или чередующимися), либо до противоположной стены, которые являются модификацией классической схемы (рис. 12.4);

3) аэротенки с регенераторами активного ила, которые применяются в технологической схеме, если концентрация $БПК_{полн}$ в поступающей сточной воде превышает 150 мг/л.

При увеличении концентрации органических загрязнений изъятие из сточной воды растворенных или взвешенных загрязнений активным илом происходит значительно быстрее, чем их окисление. Поэтому представляется целесообразной организация раздельного протекания этих двух стадий процесса в условиях, в которых происходит предварительная обработка активного ила без подачи сточной воды. После этого регенерированный активный ил смешивается с поступающей на аэротенки сточной водой, что обеспечивает повышение эффективности работы аэротенков в целом.

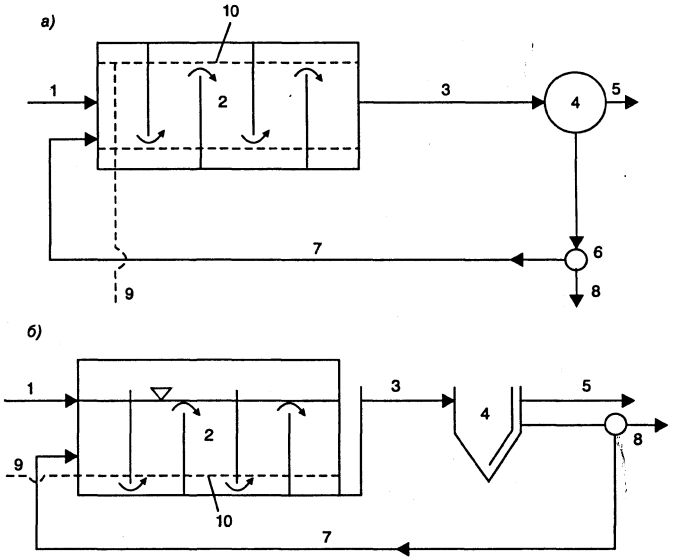


Рис. 12.4. Продольное секционирование аэротенков поперечными перегородками (см. позиции на рис. 12.2):
а — не доходящими до противоположной стены;
б — поочередно не доходящими до дна и до уровня воды в аэротенке

В конструктивном отношении регенераторы ничем не отличаются от аэротенков и могут устраиваться в виде как отдельно стоящих сооружений, так и емкостей, выделяемых в объеме аэротенков (рис. 12.5 и 12.6).

В зависимости от характера загрязнений сточных вод и условий реализации процесса для изъятия загрязнений из очищенной воды достаточно примерно 1,5–2,5 ч аэрации. Концентрация растворенного в жидкости кислорода поддерживается в пределах 0,5–2,0 мг/л. Скорость же потребления кислорода здесь значительно более высокая, чем в регенераторе, поэтому интенсивность аэрации здесь должна быть также существенно выше, чем в регенераторах. Однако длительность пребывания ила в регенераторе значительно больше длительности аэрации в аэротенке. Суммарная же длительность изъятия и окисления загрязнений остается той же, что и при реализации процесса по классической схеме.

Концентрация ила в регенераторе в 2–2,5 раза выше, чем в аэротенке, так как активный ил в него направляется прямо из вторичных отстойников без подачи сюда сточной жидкости, что позволяет на 15–20% уменьшить суммарный объем аэрационных сооружений.

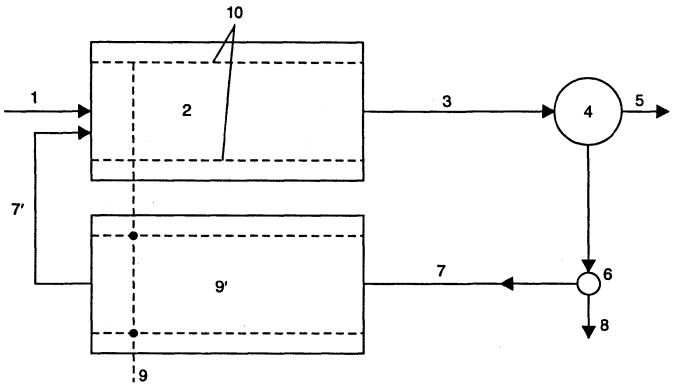


Рис. 12.5. Аэротенк с регенерацией активного ила (см. позиции на рис. 12.2):
7' — регенерированный активный ил; 9' — регенератор ила

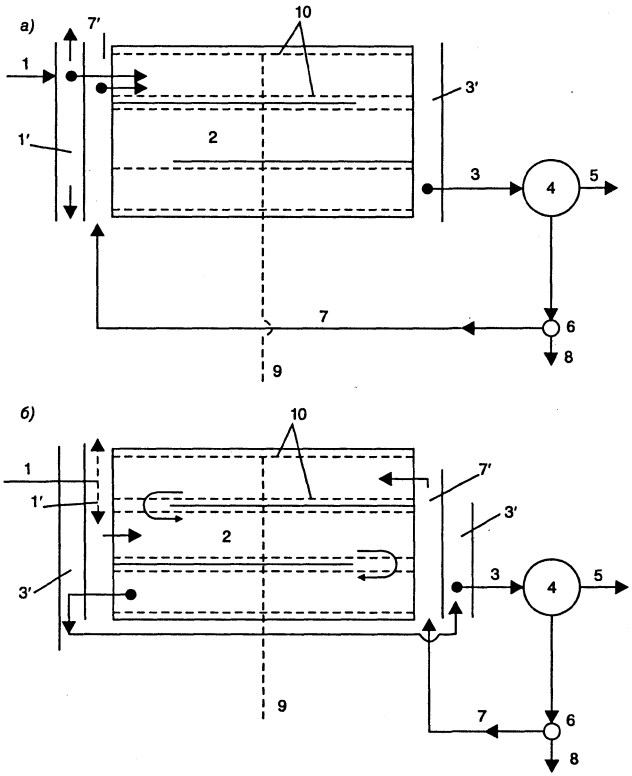


Рис. 12.6. Аэротенк-вытеснитель без регенерации (*а*)
и с регенерацией (33%) (*б*):
1' — канал сточной воды на биологическую очистку; 3' — канал иловой смеси;
7' — канал циркуляционного активного ила (см. позиции на рис. 12.2)

Объем регенераторов, выраженный в % от суммарного объема собственно аэротенков и регенераторов, получил название *«процент регенерации»*. Например, для трехкоридорного аэротенка необходимый объем регенераторов составляет 30% от суммарного объема; обеспечить этот объем можно, выделив один коридор под регенератор (это составит 33% регенерации).

Типовые аэротенки разработаны в виде 2, 3 и 4-коридорных, соответственно в них можно обеспечить 25, 33, 50, 66, 75% регенерации, выделяя от 1 до 3 коридоров под регенерацию. В принципе можно обеспечить любой процент регенерации, выделяя под регенераторы соответствующий объем аэротенков;

4) аэротенки-смесители — обеспечивают относительное постоянство условий, в которых находится активный ил. Главное преимущество этих сооружений заключается в возможности сглаживания залповых или шоковых нагрузок на активный ил в случае высоких концентраций загрязнений или наличия токсичных веществ в поступающей на очистку сточной воде. Это происходит за счет того, в аэротенках-смесителях порция сточной жидкости, поступающая в сооружение, быстро распределяется в большом объеме аэротенка, в результате этого все зоны аэротенка будут содержать одинаковую смесь загрязнений, подвергшихся различной степени воздействия активного ила (рис. 12.7, *а*, *б*);

5) аэротенки с рассредоточенной подачей воды являются сооружениями, занимающими промежуточное положение между аэротенками-вытеснителями и аэротенками-смесителями (рис. 12.8).

В аэротенках, работающих по схеме рассредоточенной подачи воды, активный ил подается сосредоточенно в торец головной части аэротенка, а сточная вода вводится в нескольких точках аэротенка вдоль продольной стены. Выпуск иловой смеси осуществляется в конце аэротенка, последняя точка ввода сточной воды должна находиться на некотором расстоянии от выхода из аэротенка.

Аэротенки могут быть проточного и контактного режима действия, с пневматической или механической (или смешанной) системой аэрации и др. В ряде случаев, особенно при наличии высоких концентраций загрязняющих веществ или веществ с резко разнящимися скоростями их биохимического окисления, прибегают к устройству двух, а иногда и трех ступеней биологической очистки и очищаемая вода проходит последовательно через каждую из них (рис. 12.9).

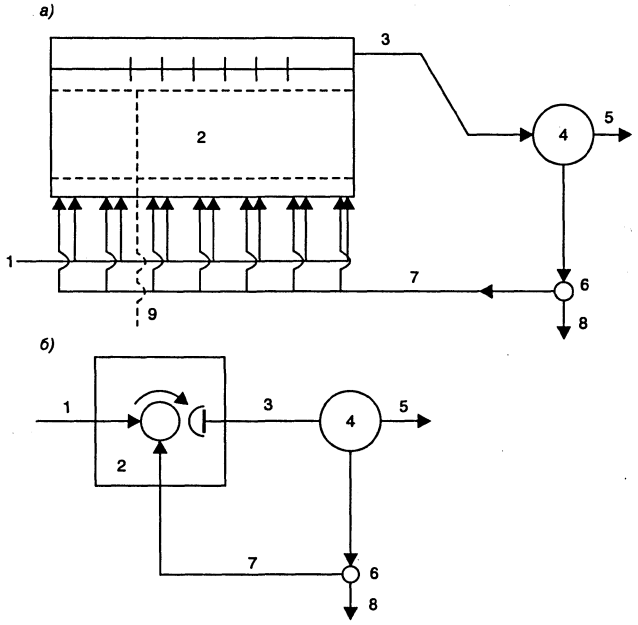


Рис. 12.7. Аэротенк-смеситель (см. позиции на рис. 12.2):
а — с рассредоточенным подводом воды и ила вдоль сооружения;
б — с центральным подводом воды и ила в аэрационную зону

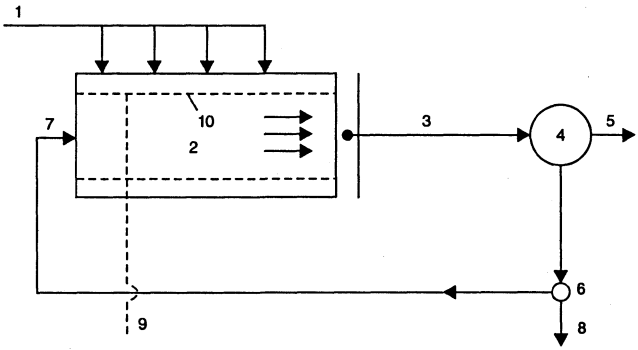


Рис. 12.8. Аэротенк с рассредоточенным впуском воды на очистку (см. позиции на рис. 12.2)

Использование процессов самоокисления активного ила на 50–70% позволяет осуществлять обработку активного ила, которую называют аэробной минерализацией или аэробной стабилизацией ила. Время обработки активного ила при этом составляет 7–12 сут.

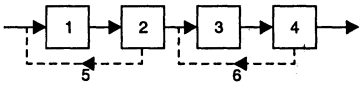


Рис. 12.9. Схема работы двухступенчатых аэротенков:
1 — аэротенк I ступени; 2 — вторичный отстойник I ступени;
3 — аэротенк II ступени; 4 — вторичный отстойник II ступени;
5 — трубопровод циркулирующего ила I ступени; 6 — трубопровод циркулирующего ила II ступени

При определенной длительности пребывания активного ила в системе биологической очистки в нем развиваются нитрифицирующие микроорганизмы, переводящие аммонийный азот NH_3 сначала в нитриты NO_2, а затем в нитраты NO_3; этот процесс получил название *нитрификации*. При прекращении подачи кислорода (воздуха) в иловую смесь нитраты под воздействием микроорганизмов активного ила будут преобразованы в газообразный азот, который улетучится в атмосферу. Такой прием получил название *денитрификации*, а соответствующие сооружения — *денитрификаторов*.

12.3. КОНСТРУКЦИИ АЭРОТЕНКОВ

Конструктивное оформление аэротенков определяется пропускной способностью очистных сооружений; исходными характеристиками подлежащей очистке сточной воды, определяющими режим работы аэротенков; типом аэрационного оборудования для подачи воздуха и перемешивания; конструкцией других сооружений, включаемых в технологическую схему очистки сточной воды, и др. При конструировании решаются вопросы оптимального расположения и обеспечения минимальной длины коммуникаций, подводящих к аэротенкам сточную воду на очистку, циркуляционный активный ил, воздух; коммуникаций, отводящих иловую смесь из аэротенков в сооружения илоотделения, и избыточный активный ил на обработку.

Для крупных очистных сооружений применяются главным образом прямоугольные в плане аэротенки с пневматической аэрацией. Для сравнительно небольших очистных сооружений применяются как прямоугольные, так и круглые в плане аэротенки с пневматической, механической или пневмомеханической аэрацией. Одной из существенных характеристик аэротенков является их связь с сооружениями последующего разделения иловой смеси. С этой

точки зрения различают аэротенки с отдельными отстойными сооружениями и аэротенки-отстойники, в которых эти два сооружения определенным образом гидравлически взаимозависимы.

Аэротенки с отдельными сооружениями илоотделения характеризуются тем, что иловая смесь из них выводится и направляется в отстойные сооружения, из которых возврат циркуляционного активного ила осуществляется принудительно либо насосными установками, либо эрлифтами.

Аэротенки, широко применяемые для крупных, средних и небольших очистных сооружений, представляют собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный на два–четыре коридора продольными перегородками, которые обеспечивают последовательное протекание по ним иловой смеси (рис. 12.10). Коридорное устройство аэротенков позволяет легко решать вопросы подвода очищаемой жидкости и ила в аэротенк и отвода из него иловой смеси независимо от технологической схемы работы аэротенка. Ширина коридора может составлять 4,5–9 м и более при глубине его до 6 м. Длина аэротенков в зависимости от пропускной способности очистных сооружений может изменяться от нескольких десятков до сотен метров.

На рис. 12.10 показан типовой 4-коридорный аэротенк, конструкция которого разработана ОАО ЦНИИЭП инженерного оборудования. Длина коридора аэротенка 84 м, а ширина может составлять 4,5; 6 и 9 м. При ширине коридора 4,5 м рабочая глубина аэротенка составляет 3,2 либо 4,4 м, а при ширине 6 и 9 м — 4,4 либо 5 м. Такой аэротенк работает по принципу аэротенка-вытеснителя как с регенерацией ила, так и без регенерации. Четырехкоридорные аэротенки позволяют отводить под регенераторы от 1 до 3 коридоров, т.е. аэротенки могут работать с 25%-ной, 50%-ной, 75%-ной регенерацией.

Для аэрации иловой смеси воздух от воздуходувок по системе воздуховодов через воздушные стояки подается в диспергаторы воздуха (аэраторы), располагаемые у днища аэротенка. Для предотвращения осаждения взвешенных веществ в каналах распределения воды или сбора иловой смеси также устанавливаются аэраторы. Воздух в данной конструкции аэротенков подается через фильтросные пластины, уложенные в бетонных каналах, которые устраивают в днище (или на днище) аэротенка вдоль продольной стенки его коридора.

Для удаления воды из-под фильтросных каналов, куда она может попадать, служат водовыбросные стояки диаметром 60 мм, на

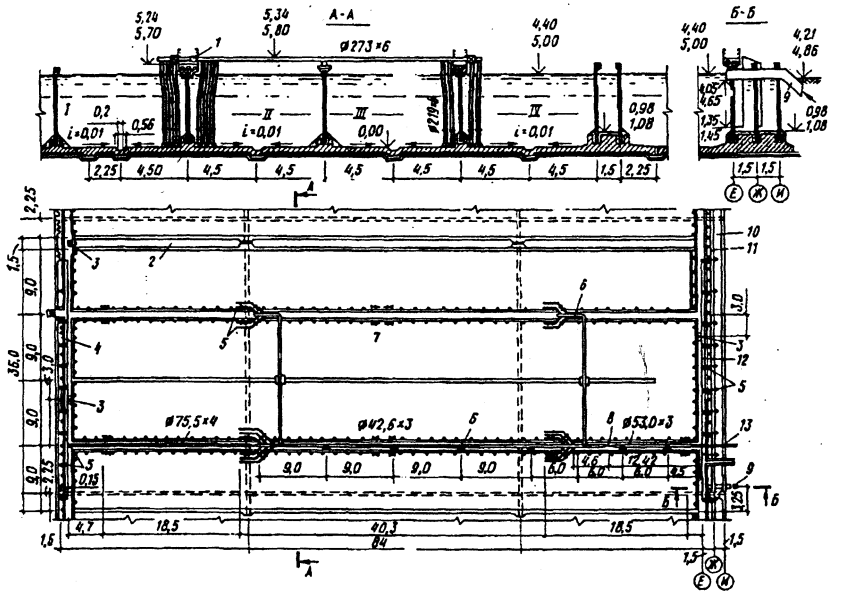


Рис. 12.10. Типовой четырехкоридорный аэротенк (диаметры указаны в мм): 1 — воздуховод; 2 — средний канал; 3 — щитовой затвор; 4 — верхний канал осветленной воды; 5 — воздушные стояки; 6 — скользящая опора; 7 — водовыбросные стояки; 8 — трубы Вентури; 9 — трубопровод циркуляционного активного ила (от распределительной камеры); 10 — распределительный канал вторичных отстойников; 11 — нижний канал осветленной воды; 12 — воздуховод на канале; 13 — воздуховод секции

которых открываются задвижки за несколько минут до включения подачи воздуха в каналы.

Если отстойные сооружения имеют прямоугольную в плане форму (горизонтальные отстойники), то может устраиваться единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками (рис. 12.11), что позволяет до минимума свести длину связывающих эти сооружения коммуникаций.

На рис. 12.12 показан аэротенк-смеситель, разработанный Гипрокоммунводоканалом. Аэротенк включает два коридора, один из которых является собственно аэротенком, а другой — регенератором активного ила.

Регенератор отделен от аэротенка легкой стенкой из волнистого шифера. Длина коридора аэротенка 135, ширина 9, рабочая глубина 5 м. Сточная вода подается в коридор собственно аэро-

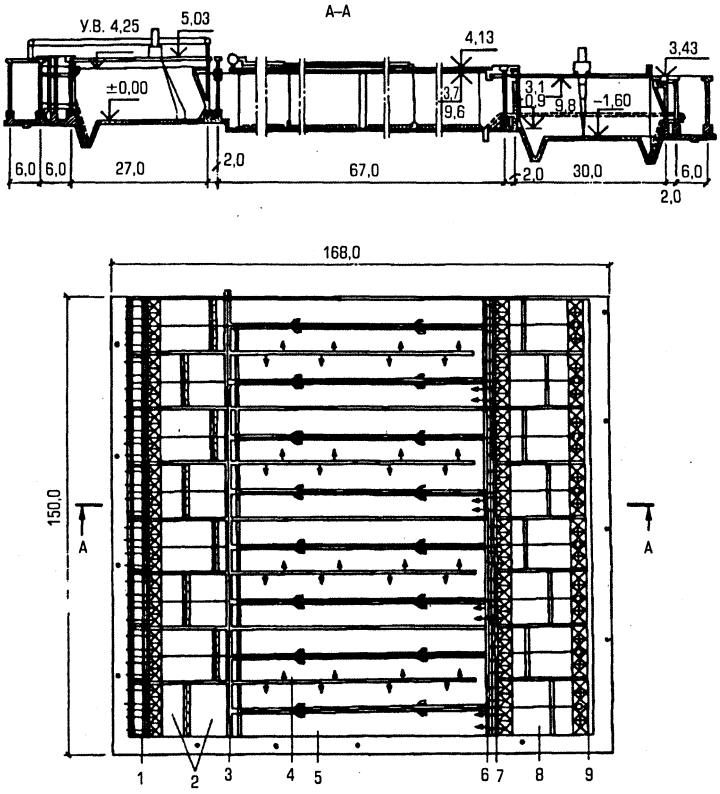


Рис. 12.11. Единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками: 1 — преаэратор; 2 — первичные отстойники; 3 — распределительный канал аэротенков; 4 — распределительный лоток аэротенков; 5 — аэротенк; 6 — лоток активного ила; 7 — распределительный канал вторичных отстойников; 8 — вторичный отстойник; 9 — контактный канал

тенка рассредоточенно через отверстия, расположенные на расстоянии 40 м одно от другого; в середине каждого коридора устроены лотки с продольным уклоном 0,001 в сторону трубопровода опорожнения аэротенков.

Устройство аэротенков с механической аэрацией практически ничем не отличается от устройства аэротенков с пневматической аэрацией; благодаря специфике механических аэраторов, имеющих квадратную или круглую в плане зону действия, при их применении стремятся увеличить ширину аэротенка (или коридора) до пяти-шести диаметров аэратора.

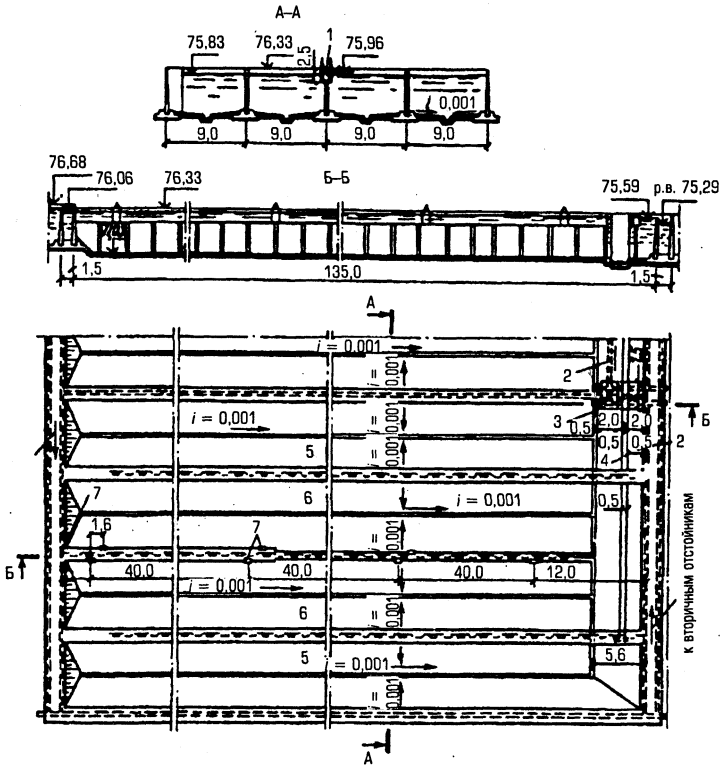


Рис. 12.12. Аэротенк-смеситель:
1 — распределительный лоток; 2 — трубопровод опорожнения аэротенков и вторичных отстойников; 3 — камера задвижек опорожнения; 4 — лоток активного ила; 5 — регенераторы; 6 — аэротенки; 7 — щитовые затворы

Характерной чертой **аэротенков-отстойников** является конструктивное совмещение аэрационного резервуара и вторичного отстойника в одном сооружении. Часть сооружения, в которой осуществляется аэрация иловой смеси, получила название аэрационной зоны, а другая — отстойной зоны. Зоны связаны между собой отверстиями, окнами, щелями и пр., которые обеспечивают переток иловой смеси из аэрационной зоны в отстойную и возврат активного ила из отстойной зоны в аэрационную без применения оборудования для принудительного возврата ила в зону аэрации. Примером такого сооружения может служить широко применяющаяся во Франции конструкция «Оксиконтакт» (рис. 12.13), разработанная французской фирмой «Дегремон».

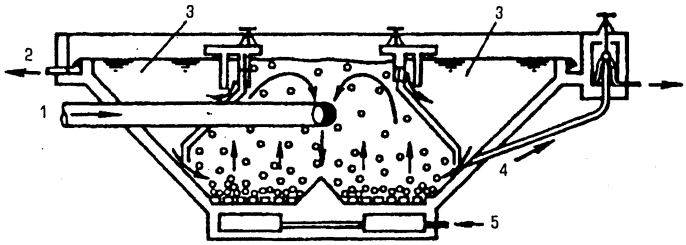


Рис. 12.13. Оксиконтакт:
1 — впуск сточной воды; 2 — отвод очищенной воды; 3 — зона отстаивания; 4 — удаление (сброс) активного ила; 5 — воздух

Перегородки имеют в их верхней части регулируемые переливные окна, через которые иловая смесь поступает в отстойную зону, а внизу перегородки примыкают к наклонной внешней стенке аэротенка, образуя продольную щель. Через эту щель осаждающийся в отстойной зоне активный ил под воздействием гравитационных сил возвращается в зону аэрации. После отделения ила вода собирается лотками, расположенными вдоль внешней стороны каждой отстойной зоны. Избыточный активный ил отводится из осадочной части отстойной зоны через илоотводные трубопроводы. Глубина сооружения около 4 м, длина 15–70 м (в зависимости от требуемой пропускной способности). Циркуляционный расход активного ила может достигать 200–300% расчетного расхода сточной воды.

Для станций небольшой пропускной способности довольно широко применяются аэротенки-отстойники круглой в плане формы с концентрическими зонами аэрации и отстаивания. На рис. 12.14 представлена конструкция, в которой сточная вода подается в центр зоны аэрации, где имеет место наиболее высокая степень турбулизации жидкости под действием пневмомеханического аэратора или пневматического аэратора.

У некоторых типов аэротенков-отстойников возврат активного ила из отстойной зоны в аэрационную осуществляется принудительно. К аэротенкам-отстойникам промежуточного типа относится установка, разработанная кафедрой водоотведения МГСУ (рис. 12.15).

Для малых очистных станций разработаны компактные установки, включающие полный набор сооружений для очистки сточной воды и минерализации избыточного активного ила, в которых используются названные выше принципы компоновки аэрацион-

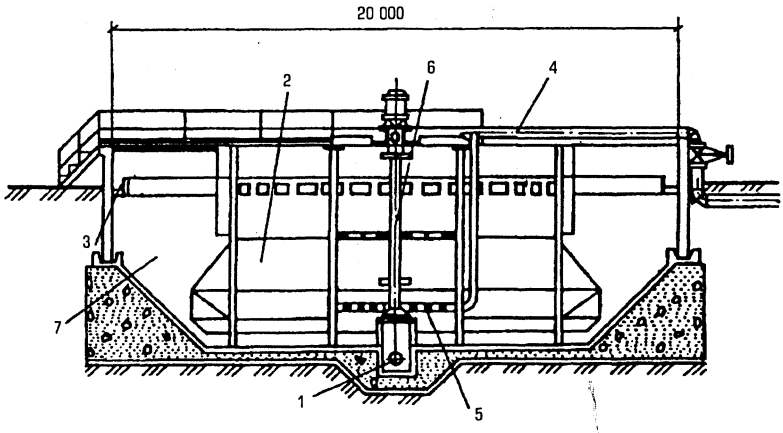


Рис. 12.14. Аэротенк-отстойник радиальный:
1 — трубопровод для подачи сточных вод; 2 — зона аэрации; 3 — лоток осветленной воды; 4 — воздуховод; 5 — кольцевой перфорированный аэратор; 6 — диспергатор-мешалка; 7 — зона отстаивания

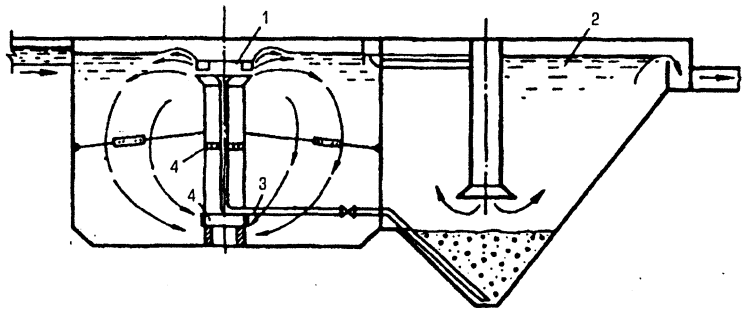


Рис. 12.15. Схема использования механического поверхностного аэратора дискового типа со стабилизатором потока для подачи ила из отстойной в аэрационную зону:
1 — зона аэрации; 2 — отстойник; 3 — трубопровод для подсасывания ила; 4 — окна для впуска жидкости

ной и отстойной зон и которые предназначены для обработки сточных вод объемом от нескольких кубометров до нескольких сот кубометров в сутки.

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) представляют собой замкнутый канал трапецеидального или прямоугольного сечения в плане овальной формы, по которому циркулирует ило-

вая смесь со скоростью 0,25–0,3 м/с. Такая скорость предотвращает осаждение активного ила и обеспечивается горизонтальными цилиндрическими аэраторами, устанавливаемыми поперек канала (рис. 12.16).

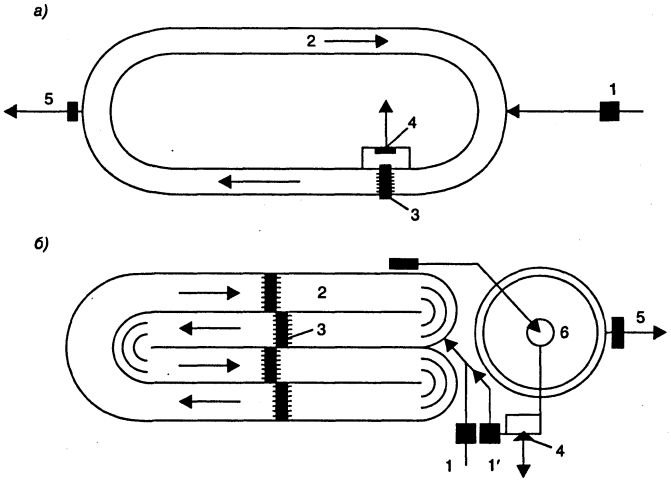


Рис. 12.16. Окислительный канал без вторичного отстойника (*а*) и со вторичным отстойником (*б*):
1 — насосная станция; 1' — то же возврата ила в ЦОК; 2 — ЦОК; 3 — горизонтальный аэратор; 4 — удаление избыточного активного ила; 5 — отведение очищенной воды; 6 — вторичный отстойник

ЦОК работает по принципу аэротенков продленной аэрации, как правило, без первичного отстаивания.

Средняя продолжительность пребывания ила в нем составляет около 40 сут, что позволяет обеспечить значительную его минерализацию. В зависимости от расхода очищаемой жидкости применяются схемы как без вторичного отстаивания (рис. 12.16, *а*), так и со вторичным отстаиванием (рис. 12.16, *б*).

Окситенки. В окситенках для обеспечения аэробных условий в сооружениях биологической очистки применяется технический кислород или воздух, обогащенный кислородом. Это позволяет поддерживать высокую концентрацию растворенного кислорода в 5–10 мг/л вместо обычно принятой для аэротенков концентрации в 1,5–2 мг/л, что существенно повышает окислительную способность сооружения и его устойчивость при шоковых и резко изменяющихся нагрузках на активный ил.

В отечественной практике очистки сточных вод с применением кислорода используются окситенки, предложенные НТЦ РФ НИИВодгео (рис. 12.17). Конструктивно окситенк выполнен в виде резервуара круглой в плане формы с цилиндрической перегородкой, разделяющей его на зону аэрации в центре и илоотделитель по периферии сооружения.

В средней части по высоте цилиндрической перегородки устроены окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; в нижней части перегородки — окна для возвращения ила в зону аэрации. Зона аэрации оборудована герметическим перекрытием.

Илоотделитель оборудован перемешивающим устройством. В нижней части решеток размещается шарнирно подвешенный скребок. Илоотделитель работает со взвешенным слоем активного ила, уровень которого стабилизируется автоматически путем сброса избыточного ила через трубу. Сточная вода поступает в зону аэрации по трубе, где турбоаэратором аэрируется и интенсивно перемешивается с активным илом. Из зоны аэрации через окна и зону дегазации иловая смесь поступает в илоотделитель. Благодаря направляющим щиткам жидкость в илоотделителе медленно движется по окружности, вследствие чего значительно интенсифицируется процесс отделения и уплотнения ила. Очищенная вода проходит сквозь слой взвешенного активного ила, доочищается от взвешенных и растворенных органических веществ, поступает в сборный лоток и отводится по трубе. Возвратный активный ил спирально опускается вниз и через окна направляется в зону аэрации.

Высокая концентрация растворенного кислорода в окситенке позволяет значительно повысить дозу активного ила в сооружении и интенсифицировать процессы нитрификации аммонийного азота. Это дает возможность повысить окислительную мощность окситенков в 5–6 раз по сравнению с аэротенками и снизить капитальные затраты в 1,5–2 раза, а эксплуатационные — в 2,5–3 раза.

Расчет окситенков осуществляется по тем же формулам, что и расчет аэротенков-смесителей, но с рабочей дозой ила в пределах 6–10 г/л и концентрацией растворенного кислорода 6–12 мг/л.

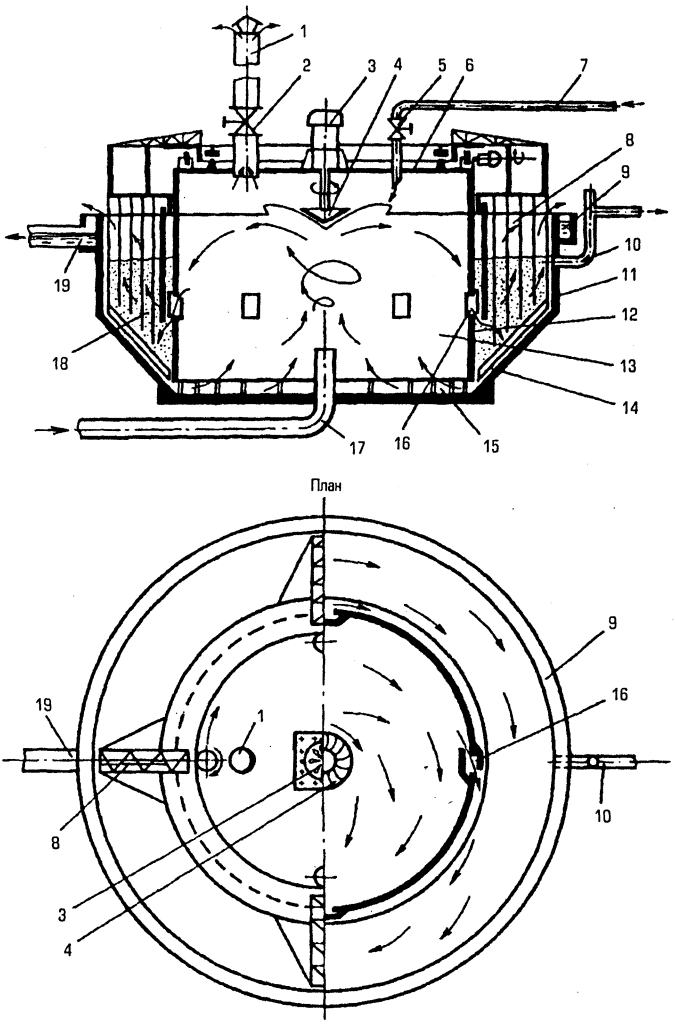


Рис. 12.17. Окситенк:
1 — продувочный трубопровод; 2 и 5 — задвижки с электрическим приводом; 3 — электродвигатель; 4 — турбоаэратор; 6 — герметическое перекрытие; 7 — трубопровод подачи кислорода; 8 — вертикальные стержни; 9 — сборный лоток; 10 — труба для сброса избыточного ила; 11 — круглый резервуар; 12 — цилиндрическая перегородка; 13 — зона аэрации; 14 — скребок; 15 — окна для поступления возвратного ила в зону аэрации; 16 — окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; 17 — труба для подачи сточной воды в зону аэрации; 18 — илоотделитель; 19 — труба для отвода очищенной воды

12.4. СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ ИЛОВЫХ СМЕСЕЙ В АЭРОТЕНКАХ

Выше отмечалось, что применительно к аэротенкам различают системы аэрации: пневматическую; механическую; смешанную, или комбинированную.

Пневматическая аэрация. В зависимости от типа применяемых аэраторов различают мелко-, средне- и крупнопузырчатую аэрацию. При мелкопузырчатой аэрации крупность пузырьков воздуха составляет 1–4 мм, при среднепузырчатой — 5–10 мм, при крупнопузырчатой — более 10 мм. К мелкопузырчатым аэраторам относятся керамические, тканевые и пластиковые аэраторы, а также аэраторы форсуночного и ударного типов; к среднепузырчатым — перфорированные трубы, щелевые аэраторы и др.; к крупнопузырчатым — открытые снизу вертикальные трубы, а также сопла.

В России наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора являлись фильтросные пластины размером 300 × 300 мм или фильтросные трубы диаметром 300 мм, изготавливаемые из шамота, который связан смесью жидкого стекла с мелкой шамотной пылью, или из кварцевого песка и кокса, которые связаны бакелитовой смолой.

Фильтросные пластины заделываются цементным раствором в железобетонные каналы, устраиваемые в днище аэротенка у стенки вдоль длинной его стороны. Воздух подается по магистральным воздуховодам и стоякам в канал, перекрытый пластинами.

В последние годы в Российской Федерации для аэрации стали применять высокопористые полиэтиленовые трубчатые аэраторы фирм «Экополимер» и «Этек». Каркас аэратора изготавливается из обычных пластмассовых труб диаметром 120–150 мм с продольными прорезями или отверстиями для выхода воздуха (рис. 12.18). Трубка резьбовым соединением присоединяется к коллектору. Применяются также пластмассовые пористые диффузоры в виде тарельчатых аэраторов, монтируемых на воздуховоде через определенные расстояния на резьбовом соединении, поверхность которых путем напыления полимерного материала покрывается пористым слоем, который и обеспечивает образование воздушных пузырьков диаметром 2–3 мм в процессе аэрации (рис 12.19).

Для аэрации сточных вод на многих станциях аэрации устанавливаются тарельчатые аэраторы, диспергирующие воздух материалы из пористо-волокнистого полимера, перфорированной резины, нержавеющей стали с лазерной просечкой. Диаметр такого

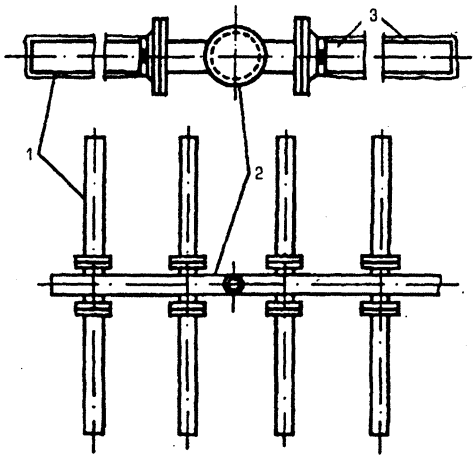


Рис. 12.18. Аэратор решетчатый тканевый:
1 — перфорированные трубки; 2 — коллектор; 3 — полиэтиленовые аэраторы

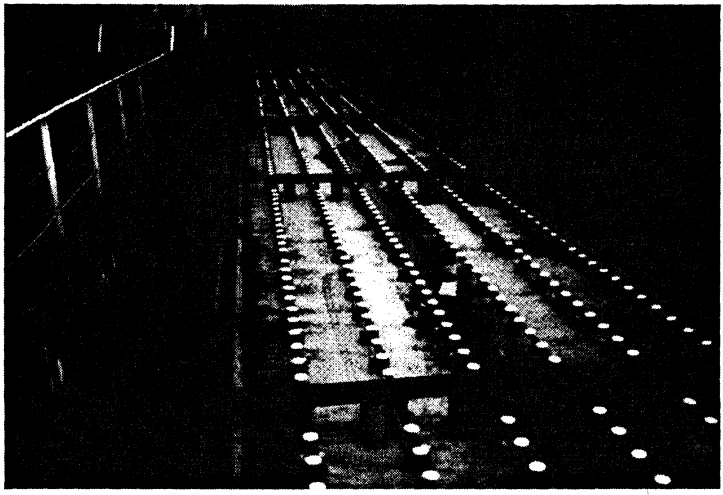


Рис. 12.19. Общий вид аэрационной системы с тарельчатыми диффузорами

аэратора 300 мм с той же пропускной способностью, что и у фильтросной пластины, т.е. 2–6 м^3 воздуха в час.

К среднепузырчатым аэраторам можно отнести перфорированные трубы, укладываемые у дна аэротенка, с отверстиями перфорации диаметром 3–4 мм. Воздухоподающие стояки устанавливают через 20–30 м. Трубы должны быть уложены строго горизонтально, иначе воздух будет продуваться неравномерно по длине трубы. В некоторых странах получил распространение низконапорный аэратор системы ИНКА. Аэратор представляет собой решетку из легких трубок из нержавеющей стали с отверстиями от 1–2 до 6–7 мм. Решетка устанавливается вдоль одной из продольных стен аэротенка на глубине 0,6–0,9 м от поверхности воды.

К крупнопузырчатым аэраторам относится система «крупных пузырей», в которой аэраторами являются трубы диаметром 30–50 мм с открытыми концами, опущенные вертикально вниз на глубину 0,5 м от дна аэротенка. В такой системе аэрации используется кислород не только сжатого, но и в большей мере атмосферного воздуха, с которым иловая смесь усиленно контактирует за счет интенсивного обновления поверхности жидкости в аэротенке. Однако эта система распространения не получила.

Механическая аэрация. Системы механической аэрации иловых смесей известны давно, но широкое распространение они получили в 60–70-е годы XX столетия. Механические аэраторы весьма разнообразны в конструктивном отношении, но принцип их работы одинаков: вовлечение воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора (ротором) и перемешивание его со всем содержимым аэротенка. Все механические аэраторы можно классифицировать следующим образом: по принципу действия — импеллерные (кавитационные) и поверхностные;по плоскости расположения оси вращения ротора — с горизонтальной и вертикальной осью вращения; по конструкции ротора — конические, дисковые, цилиндрические, колесные, турбинные и винтовые.

Наиболее широкое распространение получили аэраторы поверхностного типа, особенностью которых является незначительное погружение их в сточную воду и непосредственная связь ротора с атмосферным воздухом. Поверхностный аэратор «Симплекс» (рис. 12.20) представляет собой изготовленный из листовой стали полый усеченный конус с расширенной частью, обращенной кверху.

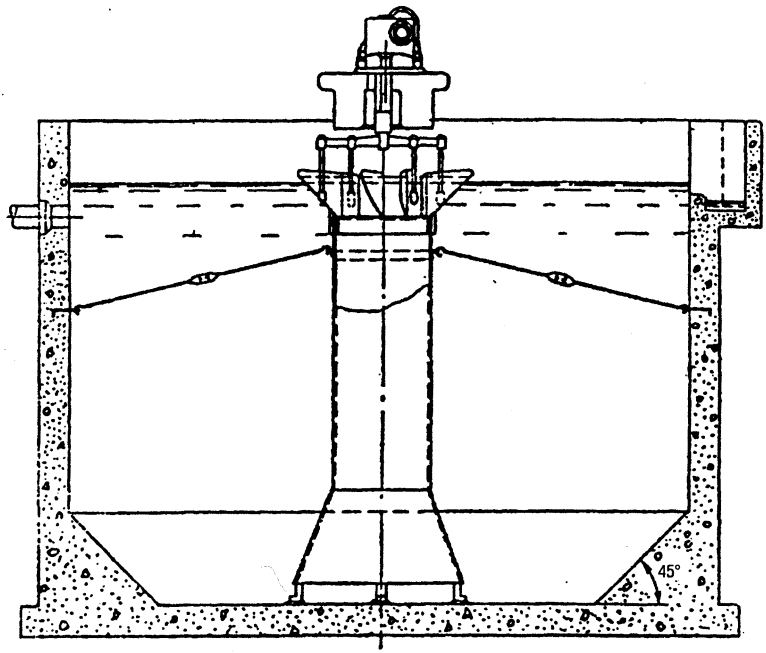


Рис. 12.20. Схема установки аэратора «Симплекс»

К внутренней поверхности конуса прикреплено несколько лопастей специальной формы. Вверху со стороны оси вращения лопасти приварены к колесу, ступица которого связана с валом, передающим вращение от двигателя на конус.

Кафедрой водоотведения МГСУ также разработана конструкция дискового аэратора, имеющего стабилизатор потока, устанавливаемый под аэратором с небольшим зазором (рис. 12.21).

Импеллерные (кавитационные) аэраторы отличаются от поверхностных тем, что турбина погружается на значительную глубину в жидкость и соединяется с атмосферным воздухом либо через полый вал, приводящий турбину во вращение, либо через трубу, в которой проходит вал вращения турбины.

Смешанная, или комбинированная, система сочетает в себе элементы пневматической и механической аэрации. Наибольшее распространение из комбинированных аэраторов получили турбинные аэраторы фирм «Дорр-Оливер» и «Пермутит», а также института «Механобр».

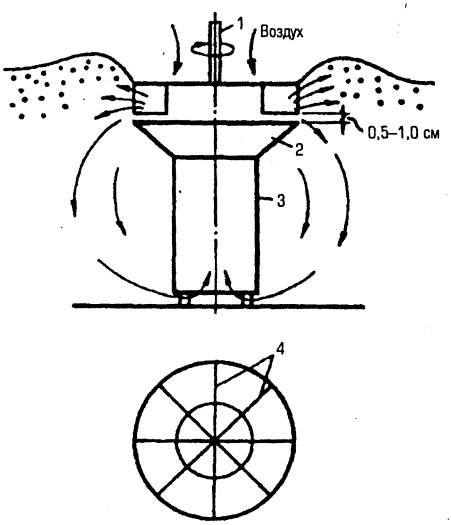


Рис. 12.21. Схема работы механического поверхностного аэратора дискового типа:
1 — вал аэратора; 2 — верхнее расширение стабилизатора; 3 — стабилизатор; 4 — лопатки аэратора

Турбинный аэратор представляет собой одну, две турбины или более, установленные на вертикальном валу, который имеет привод через редуктор от двигателя. Одна турбина располагается у дна, а вторая — на глубине около 0,75 м от поверхности воды.

Струйные, или эжекторные, аэраторы по принципу действия аналогичны механическим поверхностным аэраторам с вертикальной осью вращения. Конструктивное оформление эжекторных аэраторов весьма разнообразно, однако, как правило, они имеют в своем составе сопло для пропуска рабочей жидкости, патрубок для вовлечения воздуха из атмосферы, камеру смешения и диффузор (рис. 12.22).

Выбор надежной и эффективной системы аэрации требует также рассмотрения факторов, определяющих работу аэраторов в каждом конкретном случае: количество аэрационных агрегатов, доступ к ним, возможность и частота их замены, безотказность в работе и пр.

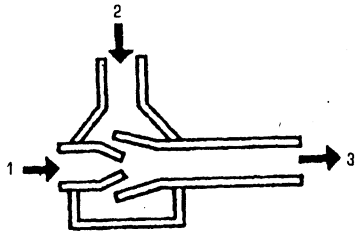


Рис. 12.22. Принцип действия эжекторного аэратора:
1 — сточная жидкость; 2 — подсос воздуха из атмосферы;
3 — водовоздушная смесь

12.5. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА АЭРОТЕНКОВ И СИСТЕМ АЭРАЦИИ

Применяемый в настоящее время в нашей стране метод расчета аэротенков основан на следующих положениях.

Выбор типа аэрационного сооружения и режима его работы производится исходя из состава очищенных сточных вод и требуемой глубины их очистки.

Длительность аэрации зависит от начальной и конечной концентрации загрязнений в сточной воде, дозы ила, скорости окисления загрязнений, концентрации растворенного кислорода и гидродинамических условий в аэротенке. По расчетному времени аэрации определяется расчетный расход сточных вод.

Необходимая вместимость аэротенков без регенераторов определяется на основе расчетного расхода и длительности аэрации без учета рециркуляционного расхода активного ила. Вместимость аэротенков при наличии регенераторов активного ила, а также самих регенераторов определяется с учетом рециркуляционного расхода активного ила в них.

Выбор системы аэрации осуществляется с учетом пропускной способности очистных сооружений, технико-экономической эффективности системы аэрации, наличия и возможностей получения выбираемого аэрационного оборудования, его долговечности и надежности в работе.

Расчет системы аэрации предусматривает определение необходимого количества воздуха (кислорода), расчетных параметров его подачи в аэротенки (расход, давление, интенсивность подачи), числа воздухораспределительных устройств — аэраторов.

В соответствии со СНиП расчетное время аэрации t_{atm} в аэротенках-смесителях рекомендуется определять по следующей формуле:

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex})/a_i(1 - S)\rho, \qquad (12.4)$$

где L_{en}, L_{ex} — $БПК_{полн}$ соответственно поступающей в аэротенк и очищенной сточной воды, мг/л; a_i — доза ила, г/л, определяемая из условий обеспечения требуемого качества осветления очищенной сточной воды во вторичных отстойниках; S — зольность ила, зависящая как от характера загрязнений сточных вод, так и глубины очистки и возраста ила; принимается либо по экспериментальным данным, либо по данным работающих в аналогичных условиях очистных сооружений; ρ — удельная скорость окисления, мг $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч.

Как отмечалось ранее, иловый индекс, характеризующий седиментационную способность ила, зависит от нагрузки на ил, а следовательно, от нагрузки на ил будет зависеть и доза ила в аэрационном сооружении. Практика показывает, что a_i может находиться в пределах 3–5 г/л — при продленной аэрации; 3–4 г/л — при низкой нагрузке; 2,5–3,5 г/л — при средней и 2–3 г/л — при высокой нагрузке.

Удельная скорость окисления загрязнений является функцией условий реализации процесса, описывается уравнениями ферментативных реакций и имеет вид

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex}C_o}{L_{ex}C_o + K_lC_o + K_oL_{ex}} \frac{1}{1+\varphi a_i}, \qquad (12.5)$$

где ρ_{max} — максимальная удельная скорость окисления тех или иных видов загрязнений, мг/(г · ч), принимается по СНиП; C_o — концентрация растворенного кислорода, поддерживаемая в аэрационном сооружении, мг/л; K_l — константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг $БПК_{полн}$/л; K_o — константа, характеризующая влияние кислорода, мг O_2/л; φ — коэффициент ингибирования биологических процессов продуктами распада активного ила, л/ч.

Значения ρ_{max}, K_l, K_o, φ, S определяются экспериментальным путем для различных загрязнений.

$$t_{atv} = \frac{1+\varphi a_i}{\rho_{max}C_o a_i(1-S)}[(C_o + K_o)(L_{mix} - L_{ex}) + K_lC_o \ln\frac{L_{mix}}{L_{ex}}]K_p, \qquad (12.6)$$

где K_p — коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания (принимается равным 1,5 при биологической очистке

до $L_{ex} \approx 15$ мг/л и 1,25 при $L_{ex} > 30$ мг/л); L_{mix} — $БПК_{полн}$ поступающей в аэротенк сточной жидкости с учетом разбавления ее циркуляционным активным илом, мг/л, т.е.

$$L_{mix} = (L_{en} + L_{ex}R_i)/(1 + R_i), \quad (12.7)$$

где R_i — степень рециркуляции активного ила, определяется как

$$R_i = a_i/(1000/I_i) - a_i, \quad (12.8)$$

где I_i — иловый индекс, $см^3/г$, зависящий от нагрузки загрязнений на ил и природы загрязнений, определяемый экспериментально.

При применении аэротенков с регенерацией активного ила вначале определяется необходимая продолжительность окисления загрязнений по формуле

$$t_o = (L_{en} - L_{ex})/R_i a_r(1 - S)\rho, \quad (12.9)$$

где a_r — доза ила в регенераторе, г/л, определяемая как

$$a_r = a_i[(1/2R_i) + 1]; \quad (12.10)$$

ρ — величина, рассчитываемая по приведенным выше формулам при дозе ила, равной a_r.

Продолжительность обработки воды в собственно аэротенке t_{at}, ч, определяется по формуле

$$t_{at} = (2{,}5/\sqrt{a_i})\lg(L_{en}/L_{ex}). \quad (12.11)$$

Продолжительность регенерации ила для окисления изъятых из очищенной воды и накопленных илом загрязнений определяется как разница

$$t_r = t_o - t_{at}. \quad (12.12)$$

Вместимость аэротенков без регенераторов определяется как

$$W_{at} = t_{at}q_w, \quad (12.13)$$

где q_w — расчетный расход сточных вод, $м^3/ч$.

Вместимость аэротенков при наличии регенераторов ила определяется как

$$W_{at} = t_{at}(1 + R_i)q_w; \quad (12.14)$$

вместимость регенераторов

$$W_r = t_r R_i q_w. \quad (12.15)$$

Отношение объема регенераторов к суммарному объему аэротенков и регенераторов, взятое в процентах, получило название *«процент регенерации»*. Таким образом, процент регенерации в суммарном объеме аэротенков и регенераторов определится как

$$r = W_r \cdot 100/W_{at} + W_r. \qquad (12.16)$$

При конструировании аэротенков предусматривается возможность их работы с переменным объемом регенераторов, что обеспечивается соответствующим расположением коммуникаций, связывающих аэротенки, регенераторы и сооружения илоотделения.

Как отмечалось выше, для поддержания рабочей дозы ила в аэротенках в заданных пределах необходимо выводить избыточный активный ил из системы аэротенк — вторичный отстойник.

Прирост активного ила P_i, мг/л, в аэротенках рекомендуется определять по формуле

$$P_i = 0{,}8C_{cdp} + K_g\alpha_{en}, \qquad (12.17)$$

где C_{cdp} — концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л; K_g — коэффициент прироста; для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод $K_g = 0{,}3$; при очистке сточных вод в окситенках величина K_g снижается до 0,25.

Для определения необходимого количества воздуха для подачи в аэротенки производится расчет удельного расхода воздуха q_{air} на 1 м^3 очищаемой воды, м^3/м^3, т.е.

$$q_{air} = q_o(L_{en} - L_{ex})/K_1K_2K_mK_3(C_a - C_o), \qquad (12.18)$$

где q_o — удельный расход кислорода, мг на 1 мг снятой БПК$_{полн}$, принимаемый при очистке до БПК$_{полн}$ = 15–20 мг/л равным 1,1, а до БПК$_{полн}$ > 20 мг/л — 0,9; K_1 — коэффициент, учитывающий тип аэратора, т.е. размер пузырьков воздуха, образующихся при выходе из аэратора. Для среднепузырчатой и низконапорной аэрации $K_1 = 0{,}75$. При мелкопузырчатой аэрации этот коэффициент будет зависеть от плотности расположения аэраторов, выражаемой через отношение суммарной площади аэраторов f_{ar} к площади днища аэротенков f_{at}; K_2 — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора h_a. Значение коэффициента K_2 возрастает с 0,4 при $h_a = 0{,}5$ м до 3,3 при $h_a = 6$ м; K_m — коэффициент, учитывающий температуру сточных вод и принимаемый равным единице при $t_w = 20$ °С. K_3 — коэффициент качества воды, принимаемый для городских сточных вод 0,85; при наличии СПАВ определяется по табл. 44 СНиП 2.04.03.85, при отсутствии данных допускается принимать $K_3 = 0{,}7$; C_a — растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, определяется по формуле

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20{,}6}\right)C_т,$$

где h_a — глубина погружения аэратора; $C_т$ — растворимость кислорода в воде, мг/л, принимается по справочным данным; C_o — средняя концентрация кислорода в аэротенке, примерно принимается $C_o = 2$ мг/л.

Определив удельный расход воздуха, м^3 на 1 м^3 очищаемой жидкости, определяют общую потребность воздуха, м^3/ч, как

$$Q_{air} = q_{air} q_w. \tag{12.19}$$

По пропускной способности аэратора определяется число пневматических аэраторов, а следовательно, и площадь аэраторов

$$f_{ar} = 2 n_a f_{ap}, \tag{12.20}$$

где n_a — число аэраторов; f_{ap} — площадь одного аэратора.

В площадь аэраторов включаются и просветы между аэраторами, если они не превышают площади аэратора (поэтому в формулу (12.20) вводится коэффициент 2).

По полученному значению f_{ar} определяется отношение f_{ar}/f_{at} и уточняется значение всех коэффициентов, входящих в формулу определения удельного расхода воздуха (и зависящих от этого отношения), а также уточняется удельный расход воздуха. Если принятая в первом приближении величина f_{ar}/f_{at} совпадает с расчетной, то далее определяется интенсивность аэрации, под которой понимается количество воздуха, подаваемое на 1 м^2 площади аэротенка в 1 ч:

$$J_a = q_{air} H_{at} / t_{at}, \tag{12.21}$$

где H_{at} — глубина аэротенка.

Расчет воздуховодов состоит в подборе диаметров трубопроводов и определении потерь напора в них. Скорость движения воздуха в общем и распределительном воздуховодах обычно принимают равной 10–15 м/с; в воздуховодах небольшого диаметра, подающих воздух в лотки под фильтросы — 4–5 м/с.

Общие гидравлические потери напора в воздуховоде h, м, складываются из потерь на трение по длине и местных сопротивлений:

$$h = h_{тр} + h_м = \frac{\lambda l}{D} \frac{v^2}{2g} \gamma + \frac{\zeta v^2}{2g} \gamma = \left(\frac{\lambda l}{D} + \zeta\right) \frac{v^2}{2g} \gamma, \tag{12.22}$$

где $h_{тр}$ — потери напора в воздуховоде на трение по длине, м; $h_м$ — местные потери напора, м; λ — коэффициент сопротивления; l, D — длина и диаметр трубопровода, м; v — скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с; g — ускорение свободного падения,

м/с^2; γ — плотность воздуха, кг/м^3; ζ — суммарный коэффициент местных сопротивлений.

Суммарное значение местных сопротивлений и сопротивлений на трение в воздуховодах не должно превышать 0,3–0,35 м.

Сопротивление фильтросных пластин быстро возрастает по мере эксплуатации, поэтому при определении общего напора воздуходувки сопротивление проходу воздуха через фильтросные пластины следует принимать 500–800 мм.

Требуемый общий напор $H_{общ}$, м, при распределении воздуха через пористые диффузоры составит:

$$H_{общ} = h_{тр} + h_{м} + h_{ф} + h_{а}, \qquad (12.23)$$

где $h_{а}$ — глубина воды в аэротенке (от поверхности воды до поверхности диффузора).

На воздуходувной станции следует устанавливать не менее двух воздуходувок — рабочую и запасную. Для обеспечения маневренности во время эксплуатации лучше устанавливать не менее двух рабочих воздуходувок. Воздуходувки подбирают по каталогу исходя из общих потерь напора и расчетного расхода воздуха.

При благоприятных условиях допускается установка воздуходувок в непосредственной близости к аэротенкам.

Расчет механической системы аэрации заключается в выборе типа аэратора, количества аэраторов как с точки зрения обеспечения требуемой окислительной способности, так и с точки зрения выполнения требований обеспечения эффективного перемешивания иловой смеси в аэрационной зоне.

12.6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА БИОФИЛЬТРАЦИИ

Биологический фильтр (биофильтр) — сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой (биопленкой), образованной колониями микроорганизмов (рис. 12.23).

Биофильтр состоит из следующих частей:

- фильтрующей загрузки, помещенной в резервуар круглой или прямоугольной формы в плане;
- водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное орошение сточной водой поверхности загрузки биофильтра;

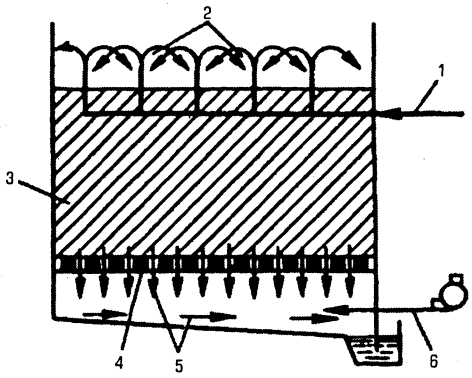


Рис. 12.23. Схема биологического фильтра:
1 — подача сточных вод; 2 — водораспределительное устройство;
3– фильтрующая загрузка; 4 — дренажное устройство;
5 — очищенная сточная вода; 6 — вентиляционное устройство

- дренажного устройства для удаления очищенной сточной воды;
- вентиляционного устройства, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух.

Толщина образующейся биопленки зависит от гидравлической нагрузки, концентрации органических веществ, от пористости и удельной поверхности загрузочного материала, влияния внешней среды и многих других факторов. В нормально работающем биофильтре общая толщина слоя биопленки может составлять от микрон в верхних его слоях до 3–6 мм в нижних.

Процессы очистки сточных вод от загрязнений в биологических фильтрах во многом сходны с процессами очистки сточных вод в других сооружениях биологической очистки, и в первую очередь в сооружениях почвенной очистки на полях орошения и полях фильтрации. Процессы биологического окисления органических загрязнений в биофильтрах протекают значительно интенсивнее за счет увеличенной пористости загрузочного материала по сравнению с пористостью почв.

Фильтруясь через загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней нерастворимые примеси, не осевшие в первичных отстойниках, а также коллоидные и растворенные органические вещества, сорбируемые биологической пленкой. Под термином «фильтрация» не следует упрощенно понимать только процессы механического процеживания сквозь толщу загрузочного материала, так как *биофильтр — это сооружение биологической очистки* с

фиксированной биомассой, закрепленной на поверхности среды-носителя (загрузочного материала), которая осуществляет процессы извлечения и сложной биологической переработки загрязнений из сточных вод. Микроорганизмы биопленки в процессе ферментативных реакций окисляют органические вещества, получая при этом питание и энергию, необходимые для своей жизнедеятельности (рис. 12.24). Часть органических веществ микроорганизмы используют как материал для увеличения своей массы и преобразования загрязнений в простые соединения (вода, минеральные соединения и газы). В результате из сточной воды удаляются органические загрязнения, проходят процессы денитрификации и увеличивается масса биологической пленки.

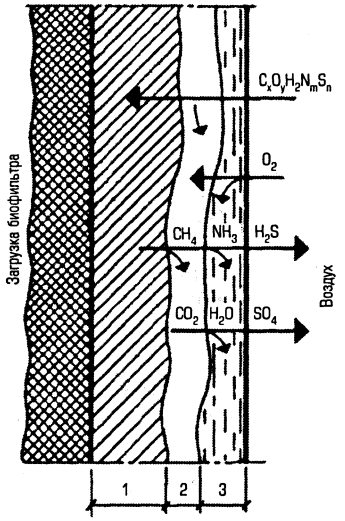


Рис. 12.24. Схема обмена веществ в элементарном слое биофильтра:
1 — анаэробный слой биопленки; 2 — аэробный слой биопленки;
3 — слой сточной воды

Отработавшая и омертвевшая пленка смывается и выносится из тела биофильтра протекающей сточной водой. Необходимый для биохимического процесса кислород поступает в толщу загрузки путем естественной или искусственной вентиляции фильтра.

Эффективность и пропускная способность биофильтров зависят от многих факторов: влияния окружающей среды, состава и режима сточных вод, эксплуатации, конструкции биофильтров, видового состава биопленки и др.

12.7. КЛАССИФИКАЦИЯ БИОФИЛЬТРОВ

Биофильтры могут работать на полную и неполную биологическую очистку и классифицируются по различным признакам, основными из которых являются конструктивные особенности и вид загрузочного материала. По виду загрузочного материала биофильтры бывают с объемной загрузкой (гравий, шлак, керамзит, щебень и др.) и с плоскостной загрузкой (пластмассы, асбестоцемент, керамика, металл, ткани и др.).

Биофильтры с объемной загрузкой подразделяются на следующие виды: капельные, имеющие крупность фракций загрузочного материала 20–30 мм и высоту слоя загрузки 1–2 м; высоконагружаемые, имеющие крупность загрузочного материала 40–60 мм и высоту слоя загрузки 2–4 м; биофильтры большой высоты (башенные), имеющие крупность загрузочного материала 60–80 мм и высоту слоя загрузки 8–16 м. Объемный загрузочный материал имеет плотность 500–1500 кг/м^3 и пористость 40–50%.

Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются на следующие виды:

- с жесткой засыпной загрузкой; в качестве загрузки могут использоваться керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы; в зависимости от материала загрузки плотность ее составляет 100–600 кг/м^3, пористость 70–90%, высота слоя загрузки 1–6 м;
- с жесткой блочной загрузкой; блоки могут выполняться из различных видов пластмассы (гофрированные и плоские листы или пространственные элементы), а также из асбестоцементных листов; плотность пластмассовой загрузки 40–100 кг/м^3, пористость 90–97%, высота слоя загрузки 2–16 м;
- с мягкой или рулонной загрузкой, выполненной из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей (нейлон, капрон), которые крепятся на каркасах или укладываются в виде рулонов; плотность такой загрузки 5–60 кг/ м^3, пористость 94–99%, высота слоя загрузки 3–8 м.

Пропускная способность биофильтров зависит от конструктивных особенностей того или иного типа сооружения и определяется содержанием активной биомассы на единицу объема сооружения.

Биофильтры с объемной загрузкой

Капельные биофильтры. В капельном биофильтре сточная вода подается в виде капель или струй. Естественная вентиляция воздуха происходит через открытую поверхность биофильтра и дре-

наж. Такие биофильтры имеют низкую нагрузку по воде — обычно 0,5–2 $м^3$ на 1 $м^3$ объема загрузочного материала в сутки. Капельные биофильтры рекомендуется применять при расходе сточных вод не более 1000 $м^3$/сут. Капельные биофильтры предназначаются для полной биологической очистки сточных вод.

Сточная вода, осветленная в первичных отстойниках, самотеком (или под напором) поступает в распределительные устройства, из которых периодически напускается на поверхность биофильтра. Вода, профильтровавшаяся через толщу загрузки, проходит через дренажную систему, а далее по непроницаемому днищу стекает к отводным лоткам, расположенным за пределами биофильтра. Затем вода поступает во вторичные отстойники, в которых отмершая биопленка отделяется от очищенной воды. При нагрузке по органическим загрязнениям больше допустимой загрузочный материал быстро заиливается и работа капельных биофильтров резко ухудшается.

Высоконагружаемые биофильтры (аэрофильтры). В начале XX столетия появились биофильтры, которые у нас в стране получили название — аэрофильтры, а за рубежом — биофильтры высокой нагрузки.

Отличительной особенностью этих сооружений является более высокая по сравнению с капельными биофильтрами окислительная мощность и пропускная способность, что обусловлено меньшей заиливаемостью и лучшим воздухообменом. Высокая скорость движения сточной воды в биофильтре обеспечивает постоянный вынос задержанных трудноокисляемых нерастворенных примесей и отмирающей биопленки. Поступающий в тело биофильтра кислород воздуха расходуется в основном на биологическое окисление части загрязнений, не вынесенных из тела биофильтра. Высоконагружаемые биофильтры могут быть использованы как для неполной, так и для полной биологической очистки сточных вод.

Башенные биофильтры. Эти биофильтры имеют высоту 8–16 м и применяются при благоприятном рельефе местности для очистных станций пропускной способностью до 50 тыс. $м^3$/сут и при БПК очищенных сточных вод 20–25 мг/л.

Биофильтры с плоскостной загрузкой. Появление в 50-х годах XX в. плоскостных — блочных, мягких и засыпных — загрузочных материалов позволило значительно повысить производительность биологических фильтров (табл. 12.2).

Плотность плоскостных загрузочных материалов (12,2–140 кг/$м^3$) значительно меньше, чем традиционных из гравия или

Таблица 12.2

Плоскостные загрузочные материалы

Загрузка	*Страна-изготовитель*	*Плотность, кг/м^3*	*Пористость, %*	*Удельная поверхность, м^2/м^3*	*Масса, кг/м^2*	*Материал*
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
Полигрид	США	80	95	45	1,77	Полистирол
Доупак	США	60	94	82	0,73	Саран
Сэфпак	США	48–64	94	90–187	0,17–0,78	Полистирол
Клоизонил I,II	Франция	70–80	94–95	180–220	0,36–0,39	ПВХ
Корозил	США	43–68	95–97	122	0,45	ПВХ
Пласдек	Швеция	28–70	95–98	100–230	0,19–0,30	ПВХ
Фловик А, В, С	Великобритания	38–76	95–97	86–160	0,44–0,48	ПВХ
Гидропак	Германия	31–67	94–98	200	0,16–0,4	ПВХ
Зульцер	Швейцария	140	90	450	0,31	ПВХ
Биопак	–	75	93	124	0,60	Полистирол
НСВ	–	41	96	73	0,56	Полистирол
Сложная волна	СССР	40	96	80	0,50	Полиэтилен
Флокор Е, М, Р	Великобритания	39–70	96	90–330	0,21–0,43	ПВХ
Эваллпорит	Германия	50	94	160	0,31	ПВХ
Кларпак ВР-Т	Польша	28	98	135	0,21	ПВХ
ЗОЗП	РФ	60	95	120	0,5	Полиэтилен
Трак	РФ	20	97	140	0,14	ПВХ
Тракпор	РФ	48	94	187	0,25	ПВХ

щебня (1350–1500 кг/м^3), что позволяет упростить и облегчить фундамент и ограждающие конструкции биофильтров. Пористость плоскостных загрузочных материалов (87–99%) более чем вдвое выше, чем у объемных загрузок (40–50%), что позволяет отказаться от принудительной вентиляции и экономить электроэнергию. Даже при одинаковой удельной поверхности активная поверхность плоскостных загрузочных материалов значительно больше за счет отсутствия мертвых зон, образующихся при соприкосновении фракций засыпного загрузочного материала.

На производительность биофильтра большое влияние оказывает конфигурация загрузочного материала. В загрузочных материалах, где жидкость движется строго вертикально по гладкой поверхности, гидравлический режим ламинарный (идеальный вытеснитель), а в загрузочном материале со сложной формой поверх-

ности, где поток отклоняется по вертикали (Флокор, Пласдек и др.), режим движения жидкости турбулентный.

Пропускная способность биофильтров с плоскостной загрузкой превышает соответствующие показатели биофильтров с объемной загрузкой в 3–8 раз при одинаковом качестве очистки сточных вод.

12.8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РАБОТЫ БИОФИЛЬТРОВ

В классической схеме на биофильтрах процесс очистки сточных вод осуществляется в проточном режиме с периодическим или непрерывным орошением поверхности загрузочного материала и включает сооружения биофильтрации и вторичного отстаивания, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточной воды, отведения и рециркуляции очищенной воды, вентиляции биофильтров.

По технологической схеме работы биофильтры могут быть одно- и двухступенчатыми, при этом режим работы назначается как с рециркуляцией, так и без нее. В некоторых случаях биофильтры применяются в качестве сооружений первой или второй ступени биологической очистки в комплексе с другими биоокислителями.

На рис. 12.25, *а* приведена классическая схема очистки сточных вод при концентрации органических загрязнений по $БПК_{полн} < 300$ мг/л. По этой схеме сточная вода после первичного отстаивания поступает на биофильтр и далее биологически очищенная вода осветляется во вторичном отстойнике.

Технологическая схема (рис. 12.25, *б*) предназначена для очистки сточных вод, если концентрация загрязнений по $БПК_{полн} > 300$ мг/л.

По этой схеме часть биологически очищенной сточной воды отбирается после вторичного отстойника и подается перед биофильтрами, и тем самым достигается требуемое разбавление воды, поступающей на биологическую очистку. Применение схемы с рециркуляцией сточной воды повышает эффективность работы очистных сооружений.

Для очистки сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений по БПК, содержащих трудноокисляемые загрязнения, следует применять двухступенчатые технологические схемы (рис. 12.25, *в*, *г*, *д*). При этом на первой ступени используются биофильтры, а на второй — другие виды биологических окислителей, например аэротенки.

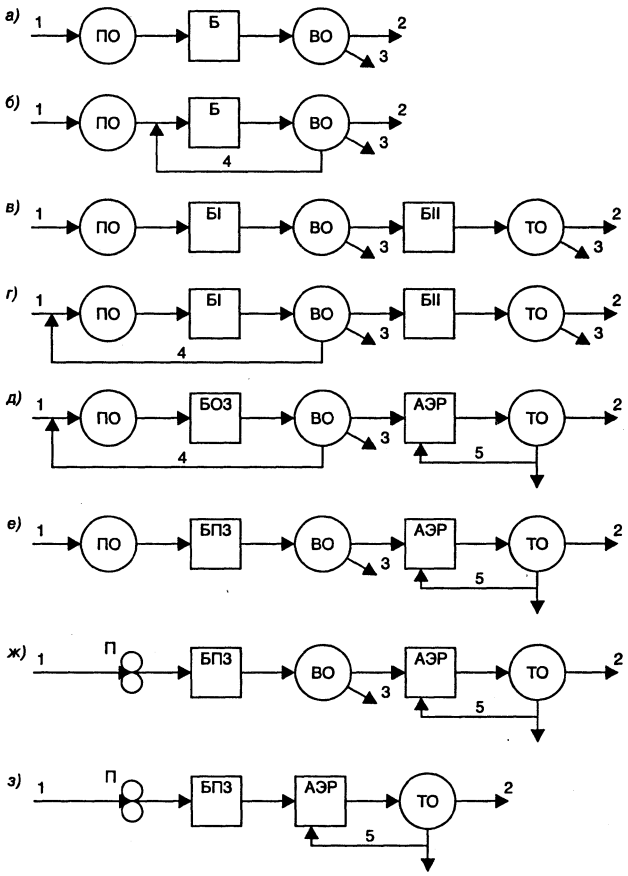


Рис. 12.25. Технологические схемы работы биофильтров:
а — одноступенчатая; *б* — одноступенчатая с рециркуляцией;
в — двухступенчатая; *г* — двухступенчатая с рециркуляцией; д — двухступенчатая с биофильтрами с объемной загрузкой на первой ступени и аэротенками на второй; *е* — двухступенчатая с биофильтрами с плоскостной загрузкой на первой ступени и аэротенками на второй; *ж* — то же, но без первичного отстаивания перед биофильтрами с плоскостной загрузкой; *з* — то же, но без вторичного отстаивания перед аэротенком; 1 — осветленные сточные воды после сооружений механической очистки; 2 — биологически очищенные сточные воды; 3 — избыточная биопленка; 4 — подача сточных вод на рециркуляцию; 5 — рециркуляционный активный ил; Б — биофильтр; Б-I — биофильтр первой ступени; Б-II — биофильтр второй ступени; БОЗ — биофильтр с объемной загрузкой; БПЗ — биофильтр с плоскостной загрузкой; АЭР — аэротенк; ПО — первичный отстойник; ВО — вторичный отстойник; ТО — третичный отстойник; П —песколовки

12.9. СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ПО ПОВЕРХНОСТИ БИОФИЛЬТРОВ

Орошение производится распределительными устройствами, которые подразделяются на две основные группы — неподвижные и подвижные. К неподвижным распределителям относятся дырчатые желоба или трубы и разбрызгиватели (спринклеры), к подвижным — качающиеся желоба и вращающиеся реактивные распределители (оросители). В отечественной и зарубежной практике наибольшее распространение получили спринклерные системы и реактивные оросители.

Спринклерное орошение. Спринклерная система состоит из дозирующего бака, разводящей сети и спринклеров (рис. 12.26).

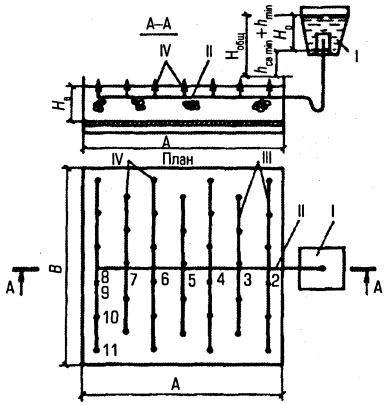


Рис. 12.26. Схема спринклерной водораспределительной сети биофильтра: I — дозирующий бак; II — магистральная труба; II — разводящие трубы; IV — спринклеры; 1–6 — линии распределительной системы; 7–11 — расчетные участки водораспределительной сети

Период орошения биофильтра зависит от вместимости бака и размеров выпускной трубы, продолжительность же наполнения бака зависит только от притока сточных вод, который колеблется в течение суток. Поэтому орошение биофильтра производится периодически, через неравные по продолжительности интервалы. Во избежание сильного охлаждения необогреваемых биофильтров интервал между орошением не должен превышать 5–8 мин.

Спринклеры (спринклерные головки) — специальные насадки, надетые на концы стояков, которые ответвляются от водораспре-

делительных труб, уложенных на поверхности или в теле биофильтра. Отверстия спринклерных головок невелики — обычно 19; 22 и 25 мм. Во избежание коррозии спринклеры изготавливают из пластмассы, бронзы или латуни. Один из типовых насадков, применяемый в отечественной практике, показан на рис. 12.27.

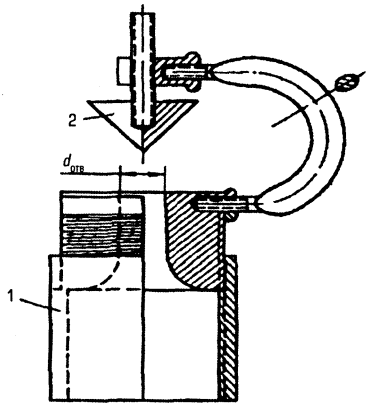


Рис. 12.27. Спринклерная головка:
1 — корпус; 2 — отражательный зонтик

При большой площади биофильтры разделяются на секции с самостоятельными водораспределительными сетями и отдельными дозирующими баками. Разбрызгиватели располагают так, чтобы площадь, орошаемая одним из них, частично перекрывала площади, орошаемые соседними разбрызгивателями (рис. 12.28, *а*, *б*, *в*). Потери напора определяют для наиболее удаленного от дозирующего бака разбрызгивателя.

Водоструйная система орошения. Водоструйная система орошения (применяется в основном для биофильтров с плоскостной загрузкой) состоит из следующих элементов: магистрального трубопровода или лотка; разводящей сети или лотков; насадочных элементов (цилиндрического, конического или коноидального типа) с отверстиями диаметром 15–32 мм, расположенными на днище разводящих труб и лотков; водоотбойных круглых в плане розеток, имеющих плоскую или вогнутую сферическую форму с гладкими или фигурными кромками. На рис. 12.29 приведены схемы оросителей струйного типа и зависимость расхода сточной воды через насадку от высоты расположения насадочного элемента.

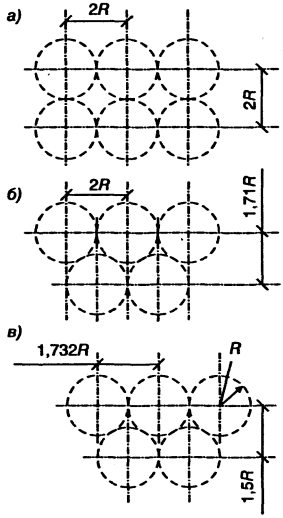


Рис. 12.28. Схемы расположения спринклеров

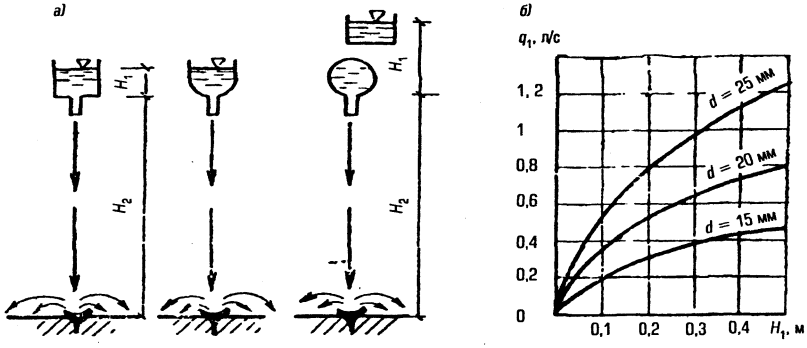


Рис. 12.29. Схема оросителей струйного типа (*а*) и зависимость $q = f(H_1)$ (*б*)

Водоотбойные розетки располагаются над или на поверхности загрузочного материала; в первом случае они подвешиваются к разводящим трубопроводам или лоткам, а во втором — закрепляются на поверхности загрузки. Разводящая сеть располагается над поверхностью загрузочного материала на расстоянии 0,5–1 м.

Сточная вода из магистрального водовода поступает в разводящую сеть и через насадочные элементы изливается в виде струй на водоотбойные розетки. Ударяясь о розетку, струя воды разби-

вается на мелкие брызги и струйки, равномерно орошая поверхность загрузочного материала биофильтра.

Реактивные вращающиеся водораспределители (оросители). Вращающийся ороситель состоит из двух, четырех или шести дырчатых труб, консольно закрепленных на общем стояке. Вода из распределительной камеры под напором поступает в стояк, установленный на шариковых подшипниках; стояк может вращаться вокруг своей вертикальной оси. Из стояка вода поступает в радиально расположенные трубы и через отверстия в них выливается на поверхность биофильтра. Под действием реактивной силы, возникающей при истечении воды из отверстий, распределитель вращается. Такие реактивные оросители получили большое распространение в отечественной и зарубежной практике (рис. 12.30).

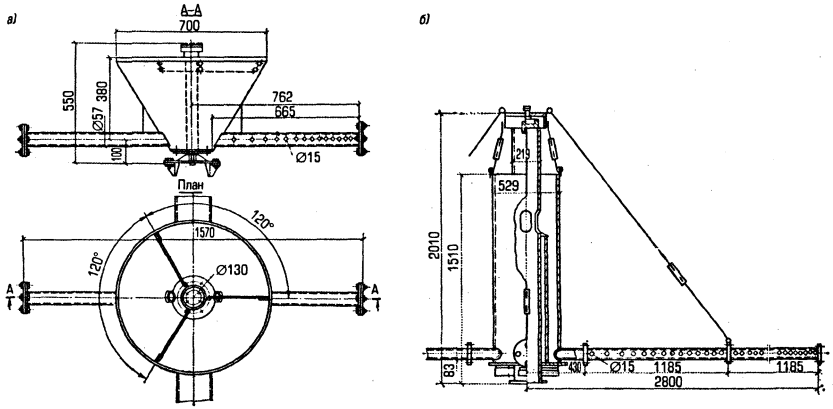


Рис. 12.30. Реактивные оросители:
а — двухтрубный; *б* — четырехтрубный

Для приведения в действие реактивного оросителя необходим сравнительно небольшой напор (0,2–1 м), что является одним из достоинств этого водораспределителя.

12.10. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ БИОФИЛЬТРОВ

В зависимости от типа и конструкции биофильтров различают два типа вентиляции биофильтров — естественную и искусственную. Необходимость в использовании естественной или искусственной вентиляции определяется типом биофильтра и климатическими условиями размещения сооружений.

Искусственная вентиляция в основном используется в высоконагружаемых биофильтрах (аэрофильтрах). Для других типов биофильтров искусственная вентиляция применяется только для обеспечения необходимого воздухообмена внутри помещения, в котором размещается биофильтр, или поддержания требуемой температуры. Для вентиляции высоконагружаемых биофильтров применяются вентиляторы низкого давления типа ЭВР или ЦЧ, обеспечивающие напор от 80 до 100 мм. Подбор вентилятора осуществляется на основании расчета биофильтра при определении количества воздуха, определяемого по формуле

$$B_{общ} = B_{уд} \cdot Q, \qquad (12.24)$$

где Q — среднесуточный расход сточной воды, м^3/сут; $B_{уд}$ — удельный расход воздуха, принимается по СНиП.

В связи с большой пористостью плоскостного загрузочного материала возможно переохлаждение очищаемой сточной жидкости в зимний период в биофильтрах, установленных на открытом воздухе. Для предупреждения переохлаждения биофильтров в зимний период необходимо: установить противоветровую защиту; соорудить над биофильтром купольное перекрытие; снизить коэффициент неравномерности притока сточных вод.

12.11. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОФИЛЬТРОВ

Длительное время в отечественной практике использовался способ расчета биофильтров по окислительной мощности. По этому методу необходимый объем материала загрузки определяется по уравнению

$$W = L_{en}Q/OM, \qquad (12.25)$$

где L_{en} — БПК поступающих сточных вод, г/м^3; Q — расход сточных вод, м/сут; OM — окислительная мощность биофильтра, г/(м^3 · сут).

Для оптимизации расчета биофильтров проф. С.В. Яковлевым был предложен графоаналитический способ расчета высоконагружаемых биофильтров, в основу которого положена функциональная зависимость $БПК_5$ выходящей после очистки на биофильтре воды от ряда факторов:

$$L_{ex} = f(L_{en}, A, q, T, H, B), \quad (12.26)$$

где L_{ex}, L_{en} — БПК сточных вод, соответственно выходящих и поступающих, г/м^3; A — концентрация взвешенных загрязнений в сточных водах, поступающих на биофильтр, г/м^3; q — гидравлическая нагрузка, м^3/(м^2 · сут); T — температура сточной воды, °С; H — высота биофильтра, м; B — расход воздуха, необходимый для аэрации 1 м^3 сточной воды, м^3.

Обработав многочисленные отечественные и зарубежные данные, проф. С.В. Яковлев получил критериальную зависимость:

$$Э = f(Ф); \quad (12.27)$$

$$Э = L_{ex} \cdot 100\%/q^{0,4}; \quad (12.28)$$

$$Ф = 10 \cdot H \cdot K_T/q^{0,4}, \quad (12.29)$$

где Ф — критериальный комплекс; K_T — температурная константа.

Метод расчета по критериальному комплексу может применяться при гидравлической нагрузке от 1 до 30 м^3/(м^2 · сут) и высоте биофильтра до 4 м.

Метод расчета биофильтров с плоскостной загрузкой предложен проф. Ю.В. Вороновым. Известно, что L_{ex} является функцией следующих величин:

$$L_{ex} = f(L_{en}, q_{pf}, S_{уд}, T, B, H, P), \quad (12.30)$$

где q_{pf} — гидравлическая нагрузка, м^3/(м^2 · сут); $S_{уд}$ — удельная поверхность загрузочного материала, м^2/м^3; T —температура сточной воды, °С; B — расход воздуха, м^3 на 1 м^3 сточной воды; H — высота биофильтра, м; P — пористость загрузочного материала, %.

В биофильтрах с плоскостной загрузкой аэрация осуществляется естественным путем, поэтому можно считать, что воздуха вполне достаточно, и функциональную зависимость (12.30) можно записать в виде

$$L_{ex} = f(F, T, H, P), \quad (12.31)$$

где F — масса органических загрязнений по БПК$_5$, поступающих в сутки на единицу площади поверхности загрузочного материала биофильтра, г/(м^2 · сут).

$$F = L_{en} q_n / S_{уд}. \quad (12.32)$$

Для биофильтров с плоскостной загрузкой критериальная зависимость может быть представлена в следующем виде:

$$\eta = P \cdot H \cdot K_t / F. \quad (12.33)$$

В табл. 12.3 приведены значения критериального комплекса η в зависимости от $БПК_5$ очищенной сточной воды. Полученная зависимость может быть выражена аналитически.

Таблица 12.3

L_{ex}, мг/л	η	L_{ex}, мг/л	η
10	3,30	35	1,60
15	2,60	40	1,45
20	2,25	45	1,30
25	2,00	50	1,20
30	1,75		

Методы расчета биофильтров с объемной и плоскостной загрузкой, разработанные профессорами С.В. Яковлевым и Ю.В. Вороновым, заложены в современную нормативную базу проектирования биологических фильтров.

Расчет биофильтров по СНиП 2.04.03-85

Капельные биофильтры в зависимости от расхода сточных вод и среднегодовой температуры воздуха размещают в неотапливаемых или отапливаемых помещениях, допустимое значение $БПК_{полн}$ сточных вод, подаваемых на биофильтр, составляет 220 мг/л; гидравлическая нагрузка — 3 $м^3/(м^2 \cdot сут)$.

Расчет капельных биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент K:

$$K = L_{en}/L_{ex}, \qquad (12.34)$$

где L_{en}, L_{ex} — $БПК_{полн}$ сточных вод, соответственно поступающей и очищенной;

2) по среднезимней температуре сточной воды T и значению K по табл. 12.4 определяются высота биофильтра H и гидравлическая нагрузка q. Если полученное значение K превышает значения, приведенные в табл. 12.4, то необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией;

3) по расходу очищаемых сточных вод Q, $м^3$/сут, и гидравлической нагрузке q, $м^3/м^2 \cdot$ сут, определяется общая площадь биофильтров S, $м^2$:

$$S = Q/q. \qquad (12.35)$$

Таблица 12.4

Параметры для расчета капельных биофильтров

Гидравлическая нагрузка, $м^3/(м^2 \cdot сут)$	Значения K при температуре сточной воды T, °С			
	8	10	12	14
1	8,0/11,6	9,8/12,6	10,7/13,8	11,4/15,1
1,5	5,9/10,2	7,0/10,9	8,2/11,7	10,0/12,8
2	4,9/8,2	7,0/10,0	6,6/10,7	8,0/11,5
2,5	4,3/6,9	4,9/8,3	5,6/10,1	6,7/10,7
3	3,8/6,0	4,4/7,1	5,0/8,6	5,9/10,2

Примечание. Перед чертой даны значения K для высоты биофильтра $H = 1{,}5$ м; за чертой — $H = 2$ м.

Биофильтры устраивают в виде отдельных секций. Число и размеры секций зависят от способов распределения сточной воды по поверхности, условий их эксплуатации и пр. Число секций должно быть не менее 2 и не более 6–8, все секции должны быть рабочими.

Высоконагружаемые биофильтры размещают на открытом воздухе, высоту биофильтров назначают в зависимости от $БПК_{полн}$ очищенной сточной воды, а гидравлическую нагрузку — в пределах 10–30 $м^3/м^2 \cdot сут$. Допустимое значение БПК поступающих на биофильтр сточных вод — 300 мг/л.

Расчет высоконагружаемых биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент K по формуле (12.34);

2) по среднезимней температуре сточной воды T и найденному значению K определяют высоту биофильтра H, гидравлическую нагрузку q и расход воздуха $B_{уд}$ по табл. 12.5; для очистки без циркуляции значения H, q и $B_{уд}$ следует принимать по ближайшему большему значению K, для очистки с рециркуляцией — по меньшему значению K.

Таблица 12.5

Параметры для расчета высоконагружаемых биофильтров

Высота биофильтра, H, м	Значение K при среднезимней температуре сточной воды T, °С							
	8		10		12		14	
	и гидравлической нагрузке q, $м^3/(м^2 \cdot сут)$							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При $B_{уд} = 8$ $м^3$ на 1 $м^3$ воды								
2	3,02	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25

Окончание табл. 12.5

4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05
При $B_{уд}$ = 10 м³ на 1 м³ воды								
2	3,69	2,89	4,08	3,11	4,5	3,36	5,09	3,67
3	6,1	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,9	6,04
4	10,1	6,23	12,3	7,18	15,1	8,45	16,4	10
При $B_{уд}$ = 12 м³ на 1 м³ воды								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31
3	7,25	5,01	8,35	5,55	9,9	6,35	11,7	7,2
4	12	7,35	14,8	8,5	18,4	10,4	23,1	12

При очистке без рециркуляции по формуле (12.35) находят площадь биофильтров.

При очистке сточных вод с рециркуляцией определяют допустимую $БПК_{полн}$ смеси поступающей и рециркуляционной сточной воды, подаваемой на биофильтр, $L_{см}$, мг/л, коэффициент рециркуляции K_{rc} и площадь биофильтров S:

$$L_{mix} = KL_{ex}; \tag{12.36}$$

$$K_{rc} = (L_{en} - L_{mix})/(L_{mix} - L_{en}); \tag{12.37}$$

$$S = Q(n_{рец} + 1)/q. \tag{12.38}$$

При расчете высоконагружаемых биофильтров для сточных вод, имеющих $T < 8$ °С и $T > 14$ °С, коэффициент K_t определяется по формуле

$$K_t = K_{20} \cdot 1{,}047^{T-20°C},$$

где $K_{20} = 0{,}2$; T — среднезимняя температура сточной воды, °С.

Биофильтры с плоскостной загрузкой, как правило, размещают в закрытом помещении, высоту биофильтра назначают в зависимости от требуемой степени очистки. Допустимое значение $БПК_{полн}$ поступающих сточных вод при полной биологической очистке 250 мг/л, при неполной очистке — не ограничивается. Гидравлическая нагрузка зависит от необходимой степени очистки и количества органических загрязнений в поступающей сточной воде.

Расчет биофильтров с плоскостной загрузкой ведется по БПК в такой последовательности:

1) в зависимости от требуемого значения $БПК_5$ очищенных вод L_{ex}, мг/л, по формуле (12.33) определяется критериальный комплекс:

$$\eta = P \cdot H \cdot K_T / F;$$

$$F = L_{en} q_n / S_{уд} = M / S_{уд},$$

где q — гидравлическая нагрузка, м^3/(м^3/сут); $S_{уд}$ — площадь удельной поверхности загрузочного материала, м^2/м^3; M — нагрузка по БПК на 1 м^3 объема биофильтра, г/(м^3 · сут);

2) по заданной среднезимней температуре сточных вод T подсчитывается K_T, глубина слоя загрузки H назначается в зависимости от требуемой степени очистки, но не менее 3–4 м. Величина P определяется по формуле (12.33) с учетом конструктивных размеров плоскостной загрузки F:

$$F = P \cdot H \cdot K_T / \eta;$$

3) по заданной величине L_{ex} и конструктивному размеру $S_{уд}$ из формулы (12.32) находится допустимая гидравлическая нагрузка q_n, м^3/(м^3 · сут)

$$q_n = F \cdot S_{уд} / L_{en}; \qquad (12.39)$$

4) по заданному суточному расходу Q, м^3/сут, и подсчитанной величине q_n определяется объем загрузочного материала биофильтра, а затем число биофильтров и их конструктивные размеры.

Для расчета биофильтров с плоскостной загрузкой составлены табл. 12.6 и 12.7 (для блоков с пористостью 93–96 %; $S_{уд}$ = 90–110 м^2/м^3; L_{en} = 200–250 мг/л).

Таблица 12.6

Допустимая гидравлическая нагрузка на биофильтры с плоскостной загрузкой

Необходимый эффект очистки, %	Гидравлическая нагрузка, м^3/(м^3/сут), при высоте слоя, м							
	3				4			
	и среднезимней температуре сточной воды, °С							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10	11	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15	16,4	17,9

12.12. КОНСТРУИРОВАНИЕ БИОФИЛЬТРОВ

Капельные биофильтры проектируются круглыми или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Верхнее дно представляет собой колосниковую решетку, а ниж-

Таблица 12.7

Допустимая органическая нагрузка на биофильтр с плоскостной загрузкой

$БПК_5$ очищенной воды, мг/л	Нагрузка по $БПК_5$ г/(м^3 · сут), при высоте слоя загрузки, м					
	3			4		
	и среднезимней температуре сточной воды, °С					
	10–12	13–15	16–20	10–12	13–15	16–20
15	1150	1300	1550	1500	1750	2100
20	1350	1550	1850	1800	2100	2500
25	1650	1850	2200	2100	2450	2900
30	1850	2100	2500	2450	2850	3400
40	2150	2500	3000	2900	3200	4000

нее — сплошное. Высота междудонного пространства должна быть не менее 0,6 м для возможности периодического его осмотра. Дренаж биофильтров выполняется из железобетонных плит, половинок керамических труб, уложенных на бетонные опоры (рис. 12.31).

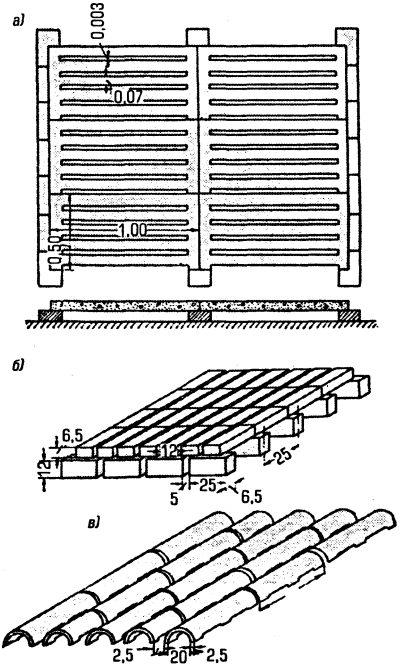


Рис. 12.31. Устройство дренажа биофильтров:
а — железобетонные плиты; *б* — кирпичи; *в* — керамические трубы

Общая площадь отверстий для пропуска воды в дренажную систему должна составлять не менее 5–8% площади поверхности биофильтров. Во избежание заиливания лотков дренажной системы скорость движения воды в них должна быть не менее 0,6 м/с. Уклон нижнего днища к сборным лоткам принимается не менее 0,01; продольный уклон сборных лотков — не менее 0,005. Стенки биофильтров выполняются из сборного железобетона или кирпича и возвышаются над поверхностью загрузки на 0,5 м.

Наилучшими природными материалами для засыпки биофильтров являются щебень, гравий и галька. Все применяемые для загрузки материалы должны удовлетворять требованиям прочности и морозостойкости. Загрузка биофильтров по высоте должна быть одинаковой крупности, и только для нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м следует применять загрузку крупностью 70–100 мм. На рис. 12.32 показан капельный биофильтр прямоугольной формы.

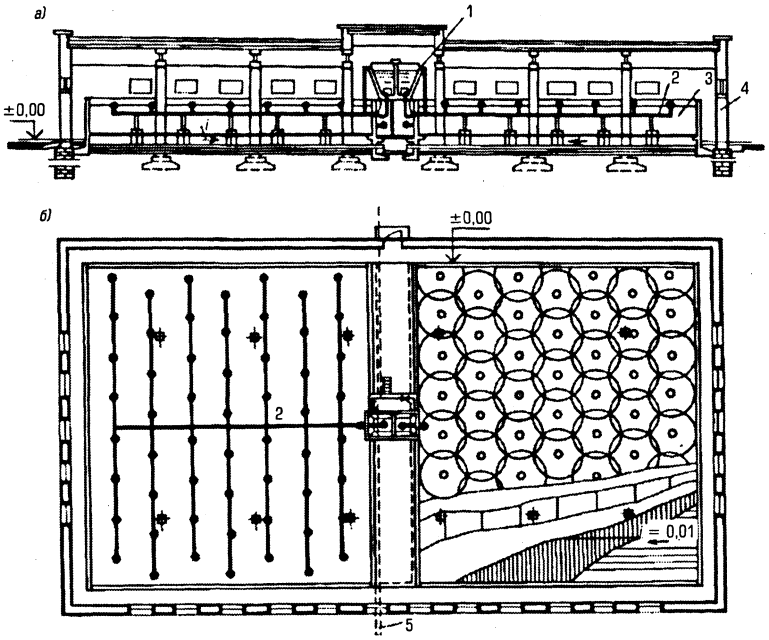


Рис. 12.32. Капельный биофильтр: *а* — поперечный разрез; *б* — план; 1 — дозирующие баки сточной воды; 2 — спринклеры; 3 — загрузочный материал; 4 — стены биофильтра; 5 — подача сточных вод в биофильтр

Высоконагружаемые биофильтры. Конструктивными отличиями высоконагружаемых биофильтров являются большая высота слоя загрузки, большая крупность ее фракций и особая конструкция днища и дренажа, обеспечивающая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом (рис. 12.33).

В закрытое (обязательно) междудонное пространство вентилятором подается воздух. На отводных трубопроводах должны быть предусмотрены гидравлические затворы глубиной 200 мм.

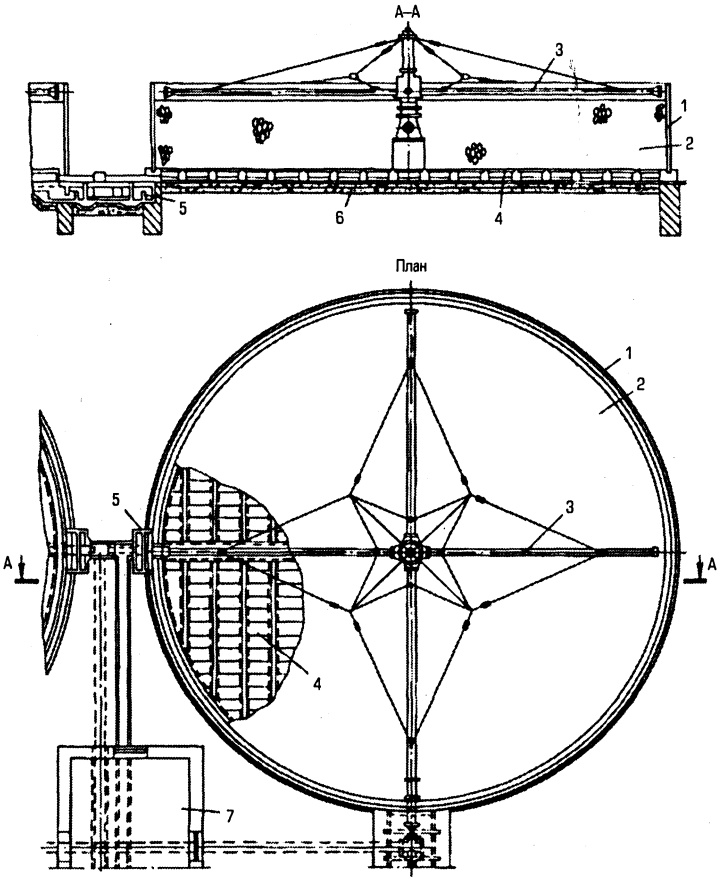


Рис. 12.33. Высоконагружаемый биофильтр:
1 — корпус; 2 — загрузка; 3 — реактивный ороситель; 4 — дренажная решетка; 5 — гидравлический затвор; 6 — сплошное днище; 7 — вентиляционная камера

Особенностями эксплуатационного характера являются необходимость орошения всей поверхности биофильтра с возможно малыми перерывами в подаче воды и поддержание повышенной нагрузки по воде на 1 $м^3$ поверхности фильтра (в плане). Только при этих условиях обеспечивается промывка фильтров. Высоконагружаемые биофильтры могут обеспечить любую заданную степень очистки сточных вод, поэтому применяются как для неполной, так и для полной их очистки на очистных станциях пропускной способностью до 50 тыс. $м^3$/сут.

Биофильтры с плоскостной загрузкой могут быть круглыми, многогранными или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Эти сооружения компактны, надежны в эксплуатации, не подвержены заилению, имеют малую энергоемкость. В качестве загрузки используются блочные, засыпные и рулонные материалы из пластических масс, металла, асбестоцемента, керамики, стекла, дерева, тканей и др. Высота слоя загрузочного материала 3–8 м, пористость 70–99%, удельная площадь поверхности 60–250 $м^2/м^3$, плотность 10–250 $кг/м^3$.

Небольшой объемный вес загрузочного материала позволяет использовать при монтаже этих сооружений легкие строительные конструкции. На рис. 12.34 приведена конструкция биофильтров пропускной способностью 1400 $м^3$/сут; в первом случае стены биофильтра выполнены из плоских асбестоцементных листов, прикрепленных к жесткому металлическому каркасу.

Опыт проектирования и эксплуатации биологических фильтров свидетельствует о том, что их целесообразно применять в качестве биологических окислителей при расходах сточных вод 10 000–50 000 $м^3$/сут. На рис. 12.35, 12.36 показаны конструкции биофильтров с плоскостной загрузкой пропускной способностью от 5000 до 50 000 $м^3$/сут, разработанные ГУП «Союзводоканал-НИИпроект».

Биофильтры с плоскостной загрузкой могут применяться как самостоятельные сооружения биологической очистки сточных вод (на полную или неполную биологическую очистку), а также использоваться в качестве сооружений первой ступени очистки в комплексе с другими биоокислителями.

Для обеспечения нормальных условий для вентиляции биофильтра с плоскостной загрузкой в нижней его части (междудонном пространстве) устраиваются вентиляционные отверстия, суммарная площадь которых должна составлять для капельных биофильтров не менее 1% от площади поверхности сооружения, а для

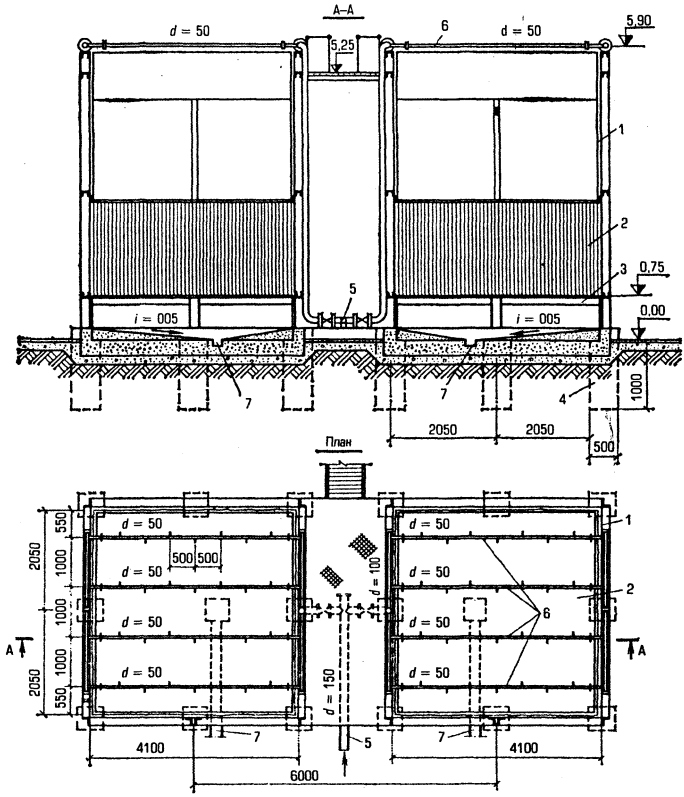


Рис 12.34. Биофильтр пропускной способностью 1400 м^3/сут с плоскостной загрузкой:
1 — корпус из асбестоцементных листов по металлическому каркасу; 2 — плоскостная загрузка; 3 — решетка; 4 — бетонные столбовые опоры; 5 — подводящий трубопровод; 6 — спринклерная разводящая сеть; 7 — отводящие лотки

башенных и биофильтров с плоскостной загрузкой — не менее 7–10%. Небольшие биофильтры следует размещать в утепленных помещениях, а биофильтры большой пропускной способности в зависимости от климатических условий можно размещать на открытом воздухе или под легкими купольными перекрытиями.

Биофильтры с объемной загрузкой разрабатываются прямоугольной формы в плане с размерами сторон, м: 3×3; 3×4; 9×12; 12×12; 15×15; 12×18 с высотой слоя загрузки 2,3; 3 и 4 м либо круглой диаметром, м: 6; 12; 18; 24 и 30 с высотой слоя загрузки 2; 3 и 4 м. Биофильтры с плоскостной загрузкой имеют проектные

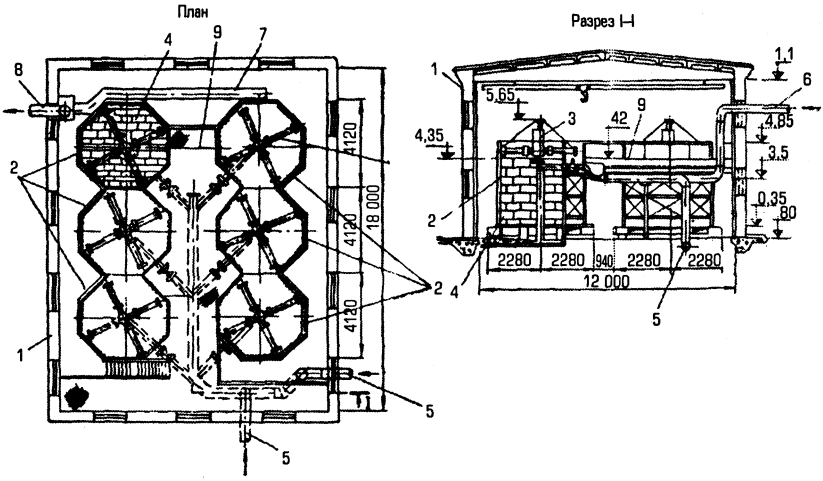


Рис. 12.35. Биофильтры секционные восьмигранной формы в плане с плоскостной загрузкой производительностью 5000–10 000 м^3/сут: 1 — здание биофильтров; 2 — секции биофильтров; 3 — реактивный ороситель; 4 — загрузка пластмассовыми блоками; 5 — напорный трубопровод неочищенной сточной воды; 6 — самотечный трубопровод неочищенной сточной воды; 7 — канал очищенной сточной воды; 8 — трубопровод очищенной сточной воды; 9 — площадка обслуживания

решения на пропускную способность 200–50 000 м^3/сут; биофильтры имеют круглую, прямоугольную и восьмигранную форму в плане с высотой слоя загрузки 3–6 м.

12.13. КОМБИНИРОВАННЫЕ СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В практике биологической очистки сточных вод помимо биофильтров и аэротенков применяются комбинированные сооружения, имеющие признаки аэротенков и биофильтров. Поиск оптимальных технологических схем и аппаратурного оформления способствовал созданию нескольких направлений их решения. Это позволяет выделить такие установки в отдельный вид комбинированных сооружений и дать примерную их классификацию: погружные биофильтры; аэротенки с прикрепленной биомассой (см. раздел 12.15); анаэробные и аэробные биореакторы; биотенки. Наиболее широкое распространение получили погружные биофильтры.

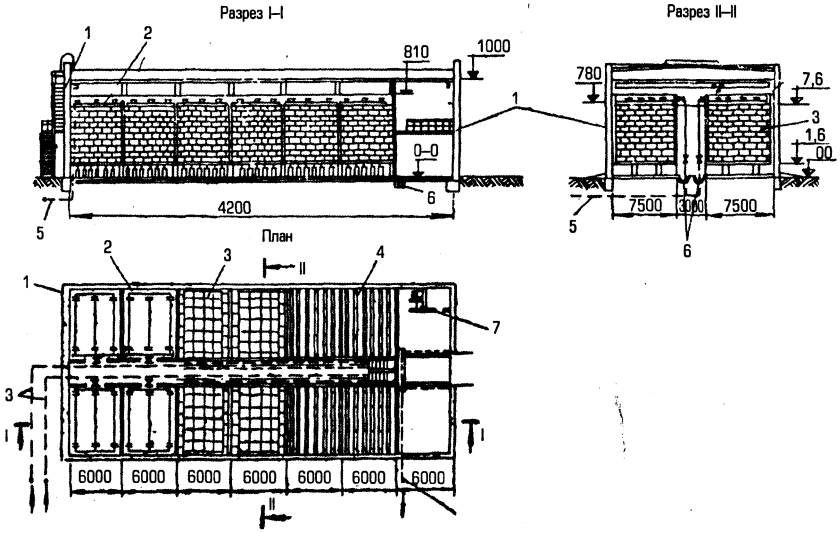


Рис. 12.36. Биофильтры секционные прямоугольной формы в плане с плоскостной загрузкой производительностью 25 000–50 000м^3/сут: 1 — здание биофильтров: 2 — водораспределительная система с разбрызгивающими устройствами; 3 — загрузка с пластмассовыми блоками; 4 — установка балок под пластмассовые блоки; 5 — подача сточной воды; 6 — отвод очищенной сточной воды; 7 — бытовые помещения

Погружные биофильтры имеют признаки биофильтров и аэротенков. Погружной биофильтр состоит из следующих основных частей: резервуара; пространственной конструкции загрузки, обладающей развитой поверхностью и закрепленной на вращающемся горизонтальном валу, расположенном над поверхностью обрабатываемой в резервуаре сточной воды; лотков для распределения поступающей и сбора обработанной сточной воды; устройства, с помощью которого приводится во вращение горизонтальный вал. Погружные биофильтры подразделяются на дисковые, шнековые, трубчатые. Наибольшее распространение в практике очистки сточных вод получили дисковые и барабанные биофильтры.

Дисковые погружные биофильтры (рис. 12.37) состоят из дисков диаметром 1–5 м (целесообразно 2–3 м), собираемых в пакеты по 30–180 штук и закрепляемых на вращающемся горизонтальном валу на расстоянии 10–25 мм друг от друга. Диски выполняются из металла, пластмасс, асбестоцемента, тканей; их толщина составляет 1–10 мм. Частота вращения горизонтального вала с па-

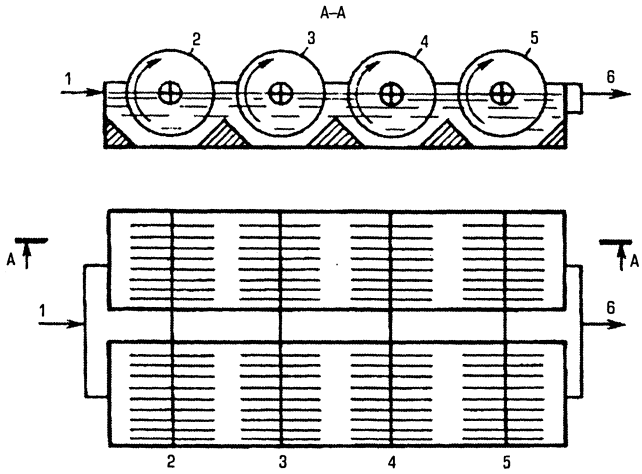


Рис. 12.37. Схема погружного дискового биофильтра:
1 — подача сточных вод; 2–5 — соответственно первая, вторая, третья и четвертая ступени погружного дискового биофильтра; 6 — выпуск обработанных сточных вод

кетом дисков 1–50 мин$^{-1}$ (чаще 2–10 мин$^{-1}$); степень погружения дисков в обрабатываемую сточную воду 0,3–0,45 диаметра.

Сточная вода подается в распределительный лоток, а затем в резервуар погружного биофильтра, где пакеты дисков постоянно вращаются с помощью электродвигателей или других устройств. На поверхности дисков закрепляются и развиваются колонии микроорганизмов, образующие биопленку. При повороте пакета дисков биопленка оказывается на воздухе, где происходит интенсивное поглощение кислорода и окисление сорбированных загрязнений. За счет вращения дисков осуществляется также процесс аэрации обрабатываемой сточной воды. Часть биопленки, включая отработавшую, отрывается от поверхности дисков и находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии аналогично хлопьям активного ила.

В зависимости от состава сточных вод и необходимой степени очистки число ступеней дисковых погружных биофильтров составляет 1–4 и более, эффективность их работы 50–98%, нагрузка по $БПК_{полн}$ на 1 м^2 поверхности дисков до 200 г/(м^2/сут). Время пребывания сточных вод в резервуаре 0,5–3 ч.

Барабанные погружные биофильтры состоят из барабанов, закрепленных на вращающемся горизонтальном валу и заполненных загрузочным материалом. Жесткий корпус барабана обтягивается

сеткой или другим материалом, а внутри корпуса помещаются засыпные загрузочные элементы, плоскостные материалы, блочные секции, на поверхности которых развивается биопленка. Барабаны длиной 2–3 м и диаметром 2–2,5 м помещаются в резервуары, куда поступает обрабатываемая сточная вода; частота вращения барабана 0,5–5 мин$^{-1}$; степень погружения барабанов в обрабатываемую сточную воду 0,3–0,45 диаметра.

На рис. 12.38 приведен односекционный погружной барабанный биофильтр, для загрузки секций которого могут быть использованы обрезки пластмассовых труб, шаровидные и другие пористые материалы, имеющие развитую поверхность и небольшую плотность.

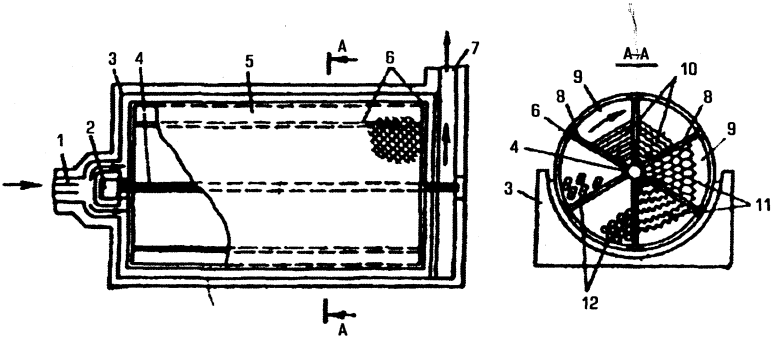


Рис. 12.38. Односекционный погружной барабанный фильтр:
1 — подводящий лоток; 2– электродвигатель с редуктором; 3 — резервуар; 4 — вал; 5 — барабан из металлической сетки; 6 — каркас жесткости; 7 — отводящий лоток; 8 — перегородки; 9 — секторы барабана; 10 — загрузочные плоские и гофрированные листы; 11 — загрузочные блоки; 12 — засыпной загрузочный материал (обрезки труб, шарики и т.п.)

В качестве загрузки используются металлические, пластмассовые и асбестоцементные гофрированные, перфорированные и гладкие листы, мягкие тканевые и пленочные материалы, блочные загрузочные элементы из пластмасс, которые крепятся к каркасу барабанного биофильтра. Число секций барабанов на одном горизонтальном валу достигает 8–10. Обрабатываемая сточная вода из резервуара сквозь сетку поступает внутрь барабана и контактирует с загрузочным материалом, на поверхности которого закрепляется биопленка.

Погружные биофильтры могут применяться для полной и неполной биологической очистки хозяйственно-бытовых и произ-

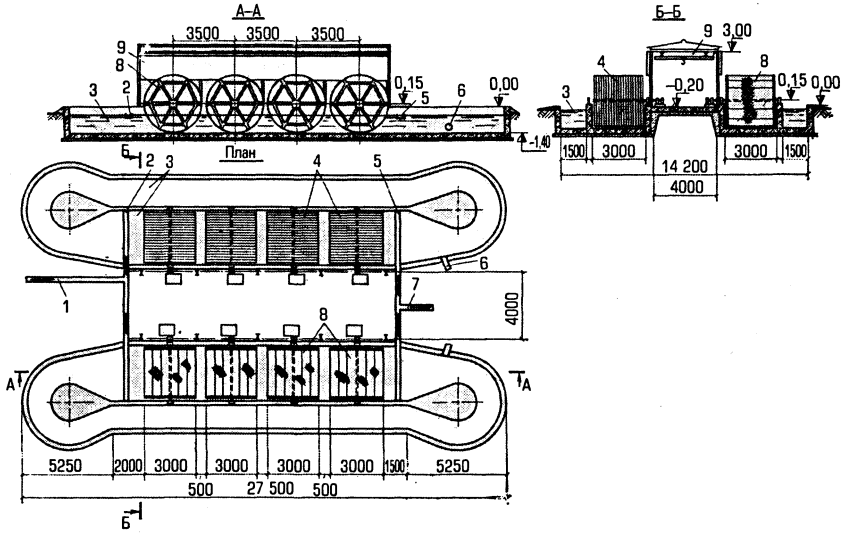


Рис. 12.39. Погружные биофильтры, совмещенные с циркуляционным окислительным каналом:
1 — поступающая сточная вода; 2 — распределительный лоток; 3 — циркуляционный окислительный лоток; 4 — дисковый биофильтр; 5 — сборный лоток очищенной воды; 6 — опорожнение; 7 — выпуск очищенной воды; 8 — барабанный фильтр; 9 — вспомогательное помещение

водственных сточных вод на сооружениях пропускной способностью от 1 м^3/сут до 150 тыс. м^3/сут. Оптимальная область применения — это комплексы сооружений по очистке сточных вод пропускной способностью 200–1000 м^3/сут от населенных мест и промышленных объектов. Погружные биофильтры устанавливаются после сооружений предварительной механической очистки; разделение биологически очищенной сточной воды и отработавшей биомассы (биопленки и активного ила) осуществляется во вторичных отстойниках.

12.14. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Под интенсификацией понимается не только повышение окислительной мощности, но и повышение эффекта или глубины очистки сточных вод в них, равно как и всемерное сокращение затрат на обработку единицы объема очищаемой жидкости.

Методы интенсификации работы аэротенков

Введение периодической аэрации иловых смесей в системах с биологическим удалением соединений азота методом нитрификации — денитрификации позволяет увеличить эффект удаления соединений азота и снизить эксплуатационные затраты.

Наиболее широкое распространение получили две базовые схемы работы аэротенков: схема работы по одноиловой системе и схема работы по двухиловой системе удаления азота. Одноиловая система глубокого удаления азота (рис. 12.40) предусматривает устройство денитрификатора на первой стадии очистки, аэротенка — на второй последовательно работающей ступени, после которой следует вторичное отстаивание с возвратом активного ила в денитрификатор. В денитрификаторе поддерживается аноксидный режим, т.е. отсутствие в среде растворенного кислорода при наличии химически связанного кислорода в форме нитритов и нитратов. В этих целях нитрифицированная иловая смесь из аэротенка подается в денитрификатор, где все содержимое перемешивается либо механическими мешалками, либо воздухом. В денитрификаторе происходит выделение азота в атмосферу и использование высвобождающегося кислорода для удаления БПК.

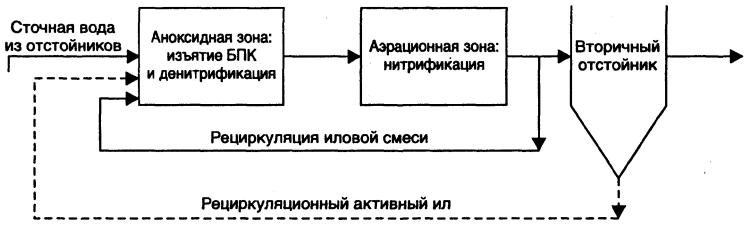


Рис. 12.40. Схема работы аэротенка с удалением азота по одноиловой системе

Вторая ступень системы нитрификатор — аэротенк предназначен для глубокой нитрификации очищаемой сточной воды, определенная часть которой возвращается в виде рециркуляционного потока иловой смеси в денитрификатор.

По схеме двухиловой системы глубокого удаления азота (рис. 12.41) сточная вода подается сразу в аэротенк, где осуществляются удаление загрязнений по показателю БПК и нитрификация аммонийного азота.

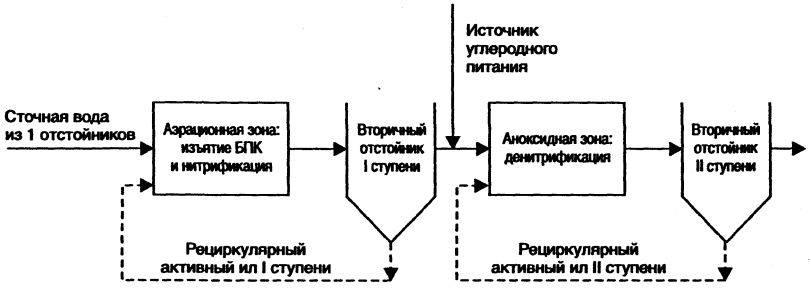


Рис. 12.41. Схема работы аэротенка с удалением азота по двухиловой системе

Иловая смесь из аэротенка поступает во вторичный отстойник, откуда активный ил возвращается в аэротенк, а нитрифицированная сточная вода поступает в денитрификатор, где поддерживается аноксидный режим.

К преимуществам одноиловой системы следует отнести наличие только одного этапа илоотделения и то, что не требуется внешний источник дополнительного углеродного питания.

Еще одним не менее широко изучаемым и перспективным направлением повышения окислительной мощности аэрационных сооружений является увеличение в них рабочей дозы активного ила. Задача по разделению иловой смеси решается двумя способами:

1) предварительного разделения иловой смеси в пределах аэротенка сетчатыми насадками, задерживающими основную массу ила в аэротенке, не допуская его выноса во вторичные отстойники;

2) замены вторичного отстойника мембранной технологией отделения взвешенной иловой фракции. Характерными показателями такого процесса являются следующие: концентрация ила в аэротенке составляет 15–30 г/л; длительность его пребывания в аэротенке 30–365 сут; концентрация аммонийного азота на выходе из аэротенка, т.е. после вакуум-фильтра, не превышает 0,3 мг/л.

Другим направлением повышения дозы ила в аэрационном сооружении является использование нейтральных носителей для образования на них фиксированной микрофлоры. Это означает, что в аэротенке поддерживаются два вида микробиальных культур: свободно плавающая, представляющая собой активный ил в обычном его понимании, и прикрепленная к плавающему в иловой смеси. Следует отметить, что применение аэротенков с фиксированной микрофлорой наиболее целесообразно для проведения

биологической очистки в режиме глубокого удаления биогенных элементов.

Методы интенсификации работы биофильтров

Основными методами интенсификации биофильтров являются:

1) изменение технологической схемы работы всего комплекса сооружений;

2) замена объемной загрузки на плоскостную;

3) изменение системы водораспределения сточных вод по поверхности загрузки биофильтра;

4) использование многоступенчатой схемы очистки в биофильтрах;

5) повышение ферментативной активности микроорганизмов за счет воздействия ультразвуком.

На рис. 12.42 представлены принципиальные технологические схемы реконструкции действующих станций биофильтрации с целью интенсификации их работы и улучшения качества очистки сточных вод. На схеме *А* дана технологическая схема до реконструкции, схемы *Б* и *В* — соответственно с частичной и полной перегрузкой объемной загрузки на плоскостную с возможным наращиванием ограждающих стен и увеличением слоя загрузочного

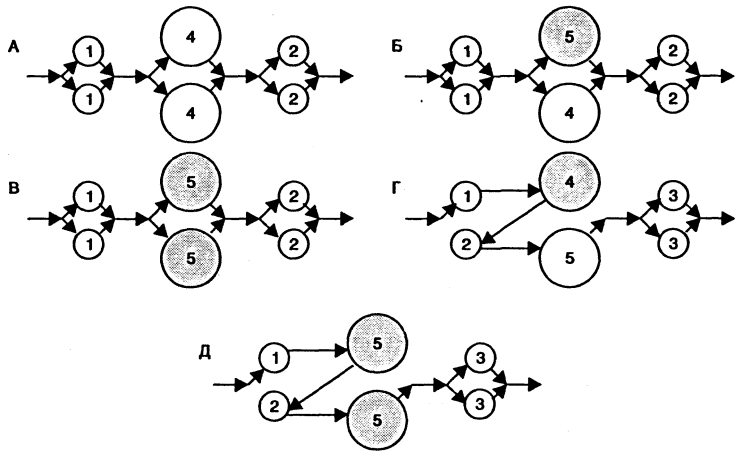


Рис. 12.42. Принципиальные схемы реконструкции станций биофильтрации: 1 — первичные отстойники; 2 — вторичные отстойники; 3 — третичные отстойники; 4 — биофильтр с объемной загрузкой; 5 — биофильтр с плоскостной загрузкой

материала. В этом случае сохраняется одноступенчатая биологическая очистка.

Схемы *Г* и *Д* предполагают перевод технологической схемы очистки на двухступенчатую и перегрузку объемной загрузки на плоскостную только первой или обеих ступеней биофильтров.

Реконструкция капельных биофильтров. Технологическая схема очистки сточных вод на капельных биофильтрах включает следующие сооружения: решетки, песколовки, двухъярусные отстойники, капельные биофильтры, вторичные вертикальные отстойники, контактные резервуары.

В отечественной практике наибольшее распространение получили капельные биофильтры, прямоугольные в плане, размещенные в здании. Высота слоя загрузочного материала таких конструкций биофильтров составляет от 2, 3 м.

Для реконструкции биофильтров возможны следующие варианты.

1. Замена загрузочного материала.
2. Изменение технологической схемы работы капельных биофильтров.

Реконструкция высоконагружаемых биофильтров

Для интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров и улучшения эффективности очистки сточных вод на очистных сооружениях можно применить несколько вариантов реконструкции. Из большого количества вариантов реконструкции выделим и рассмотрим два наиболее часто применяющихся решения:

1) реконструкция высоконагружаемых биофильтров путем замены объемного загрузочного материала на плоскостную загрузку;

2) изменение технологической схемы работы высоконагружаемых биофильтров с заменой загрузочного материала (рис. 12.43).

12.15. ВТОРИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

Вторичные отстойники являются составной частью сооружений биологической очистки, располагаются в технологической схеме непосредственно после биоокислителей и служат для отделения активного ила от биологически очищенной воды, выходящей из аэротенков, или для задержания биологической пленки, поступающей с водой из биофильтров.

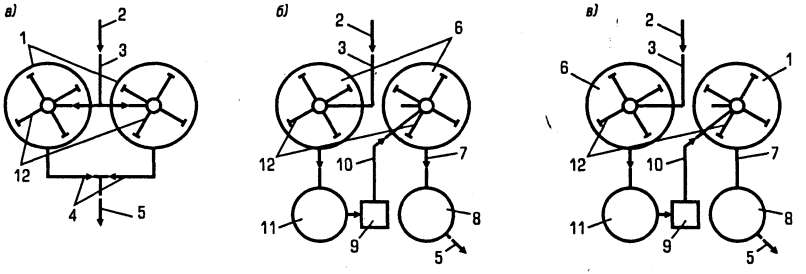


Рис. 12.43. Существующая схема очистки на аэрофильтрах до реконструкции и варианты реконструкции высоконагружаемых биофильтров: *а* — существующая схема очистки сточных вод; *б* — с полной заменой загрузочного материала в аэрофильтрах; в — с заменой загрузочного материала в одном из аэрофильтров: 1 — существующие аэрофильтры; 2 — трубопровод для подачи неочищенной сточной воды; 3 — напорный трубопровод неочищенной сточной воды; 4 — трубопроводы очищенной воды после аэрофильтров; 5 — очищенная сточная вода после аэрофильтров во вторичные отстойники; 6 — биофильтры с плоскостной загрузкой; 7 — очищенная сточная вода на третичные отстойники; 8 — третичные отстойники; 9 — насосная станция; 10 — напорный трубопровод на вторую ступень биологической очистки; 11 – вторичный отстойник; 12 — реактивные оросители; 13 — биофильтр второй ступени очистки с плоскостной загрузкой

Эффективность работы вторичных отстойников определяет конечный эффект очистки воды от взвешенных веществ.

Вторичные отстойники бывают вертикальными, горизонтальными и радиальными. Для очистных станций небольшой пропускной способности (до 20 000 м^3/сут) применяются вертикальные вторичные отстойники, для очистных станций средней и большой пропускной способности (более 20 000 м^3/сут) — горизонтальные и радиальные.

Вертикальные вторичные отстойники по своей конструкции подразделяются: на круглые в плане с конической иловой частью, по конструкции аналогичные первичным, но с меньшей высотой зоны отстаивания; квадратные в плане (12 × 12 и 14 × 14 м) с четырехбункерной пирамидальной иловой частью.

Горизонтальные вторичные отстойники выполняются с шириной отделения 6 и 9 м, что позволяет блокировать их с типовыми аэротенками, сокращая при этом площадь, занимаемую очистными сооружениями. Для сгребания осевшего активного ила к иловому приямку в горизонтальных отстойниках используют скребковые механизмы цепного или тележечного типа. В зарубежной практике используют подвижные илососы, установленные на тележках. На средних и крупных очистных станциях наибольшее распространение получили вторичные радиальные отстойники.

Вторичные отстойники после аэротенков. Для технологических схем биологической очистки сточных вод в аэротенках вторичные отстойники в какой-то степени определяют также объем аэрационных сооружений, зависящий от концентрации возвратного ила и степени его рециркуляции, способности отстойников эффективно разделять высококонцентрированные иловые смеси.

При снижении интенсивности турбулентного перемешивания и последующем отстаивании иловой смеси в результате биофлокуляции происходит агрегирование хлопков активного ила в хлопья размером 1–5 мм, которые осаждаются под воздействием силы тяжести. Гидродинамический режим работы вторичных отстойников формируется в результате совокупного воздействия следующих гидродинамических условий: режим впуска иловой смеси в сооружение, оцениваемый скоростью ее входа и определяющий интенсивность взаимодействия входящего потока с потоками оседающего ила и осветляемой воды; процесс сбора осветленной воды, определяемый в основном скоростью подхода воды к сборному лотку и его удаленностью от уровня осевшего ила; режим отвода осевшего ила, определяемый скоростью входа ила в сосуны илососа, уровнем стояния ила и удаленностью сосунов от сборного лотка.

Учет влияния турбулентного режима движения воды во вторичных отстойниках на конечную концентрацию взвешенных веществ производится через коэффициент объемного использования, характеризующий как конструкцию отстойника, так и основные технологические параметры его работы. Тонкослойное отстаивание может использоваться как для предварительного разделения концентрированных иловых смесей, поступающих непосредственно из аэротенков, так и для осветления надиловой воды после гравитационного отделения основной массы активного ила. Тонкослойное отстаивание осветляемой надиловой воды наиболее эффективно в сочетании с низкоградиентным перемешиванием отстаиваемой иловой смеси на всех стадиях илоразделения.

ГУП МосводоканалНИИпроект разработал типовые вторичные радиальные отстойники из сборного железобетона (d = 18, 24, 30, 40 и 50 м) (рис. 12.44).

Осветленная вода собирается через водослив сборного кольцевого лотка, откуда поступает в выпускную камеру. Активный ил, осевший на дно отстойника, удаляется самотеком под гидростатическим давлением через сосуны илососа по илопроводу в иловую камеру. Вторичные вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники после аэротенков рассчитывают по гидравлической нагрузке воды на поверхность отстойника q_{ssa}, м^3/(м^2 · ч):

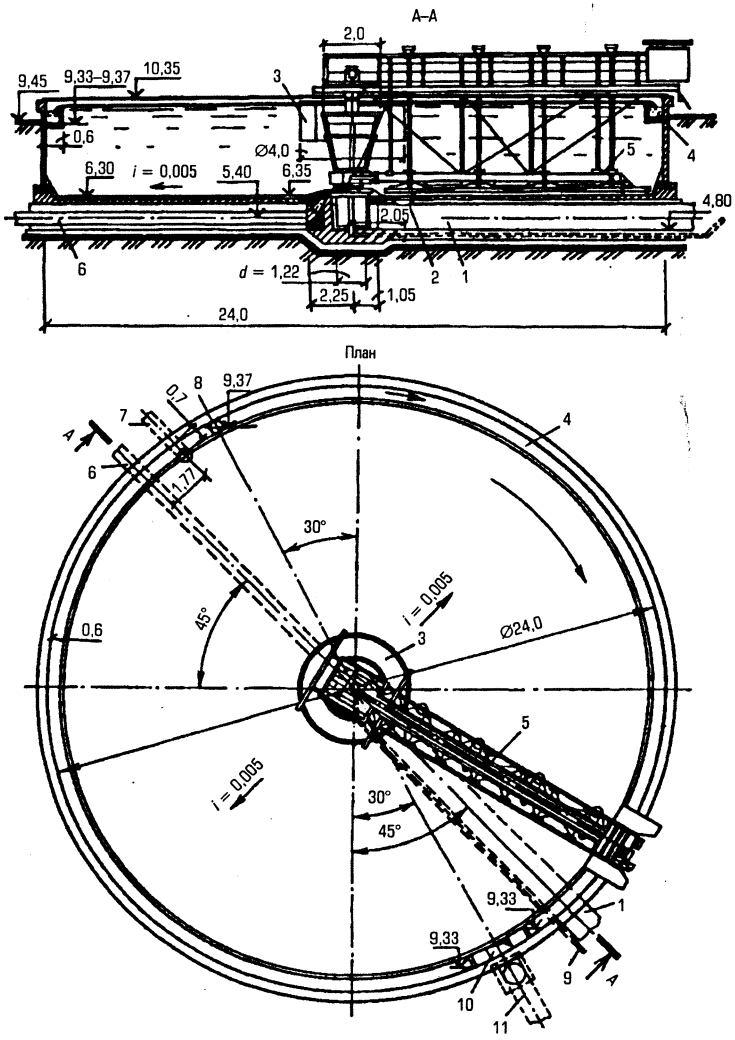


Рис. 12.44. Вторичный радиальный отстойник из сборного железобетона: 1 — подводящий трубопровод; 2 — люк-лаз; 3 — металлический распределительный кожух; 4 — сборный желоб; 5 — илосос; 6 — трубопровод возвратного активного ила; 7 — трубопровод опорожнения; 8 — датчики уровня ила; 9 — труба для элекрокабеля; 10 — выпускная камера; 11 — отводящий трубопровод

$$q_{ssa} = 4{,}5K_{set}H_{set}0{,}8/(0{,}1I_i a_i)^{0{,}5-0{,}01a_t}, \quad (12.40)$$

где H_{set} — глубина слоя осветляемой воды в отстойнике, м; K_{set} — коэффициент использования объема, зависящий от типа отстойника; I_i — иловый индекс, определяемый в зависимости от нагрузки на ил в аэротенках, мг/г; a_i — доза активного ила в иловой смеси, поступающей из аэротенков, г/л; a_t — требуемая конечная концентрация иловых частиц в осветленной, биологически очищенной воде.

Определяется площадь вторичных отстойников F_{ssa}, м^2 (с учетом коэффициента рециркуляции):

$$F_{ssa} = q_{mid}K_{qeu}/q_{ssa}. \quad (12.41)$$

Принимается число вторичных отстойников (желательно не менее 4) и определяется их диаметр d, м (для горизонтальных отстойников длина и ширина):

$$d = \sqrt{4F_{ssa}/\pi n_{II}}. \quad (12.42)$$

Вторичные отстойники после биофильтров. Эффективность осветления биологически очищенной воды во вторичных отстойниках определяет, как правило, конечный эффект очистки воды и эффективность работы всего комплекса станции биофильтрации.

При разработке проектов станций биофильтрации горизонтальные вторичные отстойники практически не использовались, в очень редких случаях применялись радиальные отстойники.

Оптимальное количество вторичных отстойников на очистных станциях практически любой пропускной способности должно быть от 2 до 8.

Вторичные отстойники после биофильтров рассчитывают по нагрузке воды на их поверхность q_{SSb}, м^3/(м^2 · ч):

$$q_{ssb} = 3{,}6K_{set}u_0, \quad (12.43)$$

где u_0 — гидравлическая крупность биопленки, при полной биологической очистке равная 1,4 мм/с; K_{set} — коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от типа отстойника.

Площадь поверхности отстойников F_{ssb}, м^2, определяют с учетом рециркуляционного расхода:

$$F_{ssb} = Q^{\max}_{час}(K_{rc} + 1)/q_{ssb}, \quad (12.44)$$

где $Q^{\max}_{час}$ — максимально-часовой расход сточных вод; K_{rc} — коэффициент рециркуляции.

Влажность удаляемой из отстойников биопленки принимается 96%, выгрузка осуществляется не реже одного раза в сутки.

Глава 13
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

13.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

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

Обязательным условием применения физико-химических процессов очистки сточных вод является источник внешней энергии. Для их осуществления используют разнообразные виды энергии: электрическую, химическую, тепловую, механическую и др. Это увеличивает затраты на очистку воды.

В практике очистки сточных вод часто встречаются ситуации, когда биологические очистные сооружения не могут обеспечить эффективную работу, например, вследствие длительных перерывов в поступлении сточных вод, нестабильности энергоснабжения, а 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.

13.2. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ФЛОТАЦИЕЙ

Флотация — один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, 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 грубодисперсных примесей, характеризуемых показателем «взвешенные вещества», наличием плавающих веществ (нефтепродукты, жироподобные 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 вспомогательного оборудования (рис. 13.1). 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

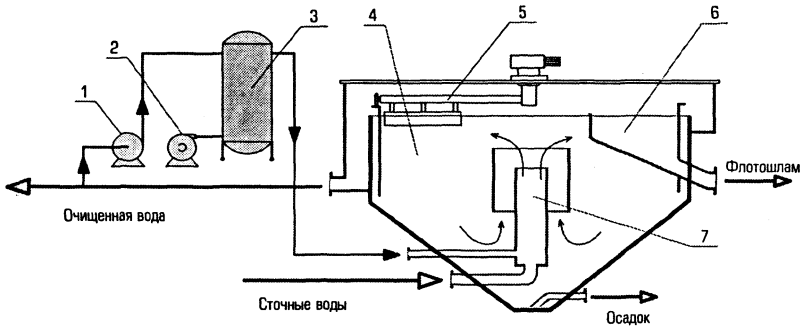


Рис. 13.1. Схема флотационного сооружения:
1 — циркуляционный насос; 2 — компрессор; 3 — напорный бак;
4 — камера флотации; 5 — скребковый механизм; 6 — сборник флотошлама;
7 — система распределения воды и водовоздушной смеси

установка для насыщения воды воздухом при избыточном давлении 0,3–0,6 МПа.

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 4 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 для сгребания пены в пеносборник.

Применение флотации после сооружений полной биологической очистки городских сточных вод позволяет существенно улучшить многие показатели качества воды. В табл. 13.1 приведены данные по флотации биологически очищенных сточных вод.

Таблица 13.1

Результаты флотационной обработки городских сточных вод после сооружений полной биологической очистки

Показатель	*Сточные воды*		*Средний эффект очистки, %*
	поступающие	*очищенные*	
Взвешенные вещества, мг/л	8–25	4–12	50
$БПК_5$, мг O_2/л	10–25	4,5–11	55
ХПК, мг O_2/л	40–110	24–39	45
ПАВ, мг/л	1,5–6,5	0,5–4,2	67

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%.

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.

13.3. 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 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, алюминат натрия $NaAlO_2$, гидроксохлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl$, реже — тетраоксосульфаты алюминия–калия и алюминия–аммония. Широкое распространение получил сульфат алюминия. При коагулировании сульфат алюминия взаимодействует 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 $FeCl_3$. 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 осе-

дающих 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.

Выбор типа сооружений технологического комплекса зависит от его производительности, состава и свойств сточных вод, применяемых реагентов, условий проектирования, строительства и эксплуатации очистной станции.

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 рис. 13.2 дан пример технологического комплекса коагулирования сточных вод, выполненного в виде моноблока сооружений.

Истинно растворенные и коллоидные органические загрязнения городских сточных вод характеризуются многообразием ком-

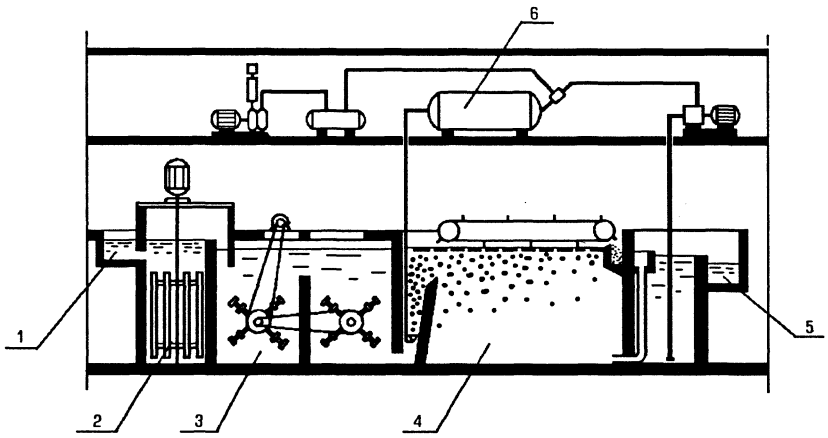


Рис. 13.2. Комбинированное сооружение физико-химической очистки сточных вод:
1 — подводящий канал сточных вод; 2 — механический смеситель; 3 –камера хлопьеобразования; 4 — флотатор; 5 — отводящий канал очищенной воды; 6 — система приготовления водовоздушной смеси

понентов. 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 соосаждения их гидроксидов, полнота которого зависит от pH сточной воды и свойств самих металлов.

Таким образом, в процессе коагулирования и последующего отделения осадков из сточных вод могут быть достаточно полно удалены не только взвешенные вещества, но и органические коллоидные загрязнения, некоторые растворенные загрязнения, в том

числе обладающие поверхностно-активными свойствами, соединения фосфора, соли тяжелых металлов и т.д.

Применение флотации для отделения скоагулированных загрязнений наряду с увеличением скорости извлечения загрязнений повышает эффективность очистки воды по взвешенным веществам, ПАВ, ХПК. В табл. 13.2 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.

Таблица 13.2

Результаты доочистки сточных вод коагулированием с последующей флотацией

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

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

13.4. 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 окисления 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 мг/л,

то для предотвращения заиливания адсорбционного фильтра перед ним устанавливают фильтр с зернистой загрузкой.

В процессе адсорбционной доочистки из воды удаляются биохимически 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 табл. 13.3.

Таблица 13.3

Результаты работы адсорбционных фильтров после полной биологической очистки городских сточных вод

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

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 БПК и содержанию азота. Это явление было положено в основу разработки сооружения для глубокой очистки сточных вод — *биосорбера*.

В биосорберах сочетаются биохимические и физико-химические процессы, происходящие во взвешенном и плотном слоях активного угля. Схема установки дана на рис. 13.3. 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 БПК 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 или его частью в сочетании с другими со-

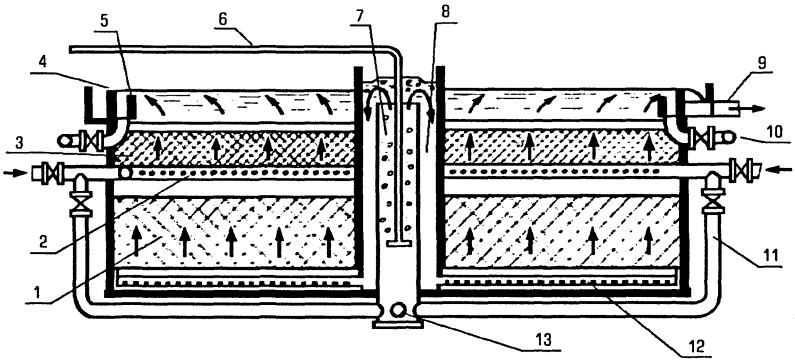


Рис. 13.3. Биосорбер конструкции ФГУП НИИВодгео:
1 — взвешенный слой активного угля; 2 — дренажная система; 3 — плотный слой активного угля; 4 и 5 — водосливы очищенной и промывной воды; 6 — воздуховод; 7 — эрлифт; 8 — камера дегазации; 9 и 10 — отвод очищенной и промывной воды; 11 — циркуляционный трубопровод; 12 — распределительная система подачи воды; 13 — подача сточных вод

оружениями, 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.

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.

Принципиальная схема такой станции очистки сточных вод приведена на рис. 13.4.

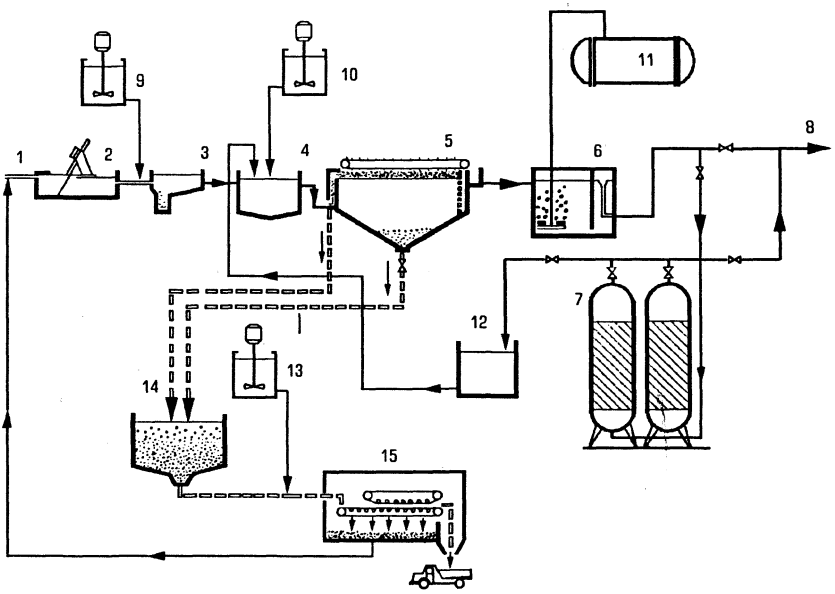


Рис. 13.4. Схема станции с трехступенчатой физико-химической очисткой сточных вод:
1, 8 — подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 — решетка; 3 — песколовка; 4 — камера флокуляции; 5 — отстойник-флотатор; 6 — контактная камера; 7 — адсорбционные фильтры; 9 — подача коагулянта; 10, 13 — подача флокулянта; 11 — озонатор; 12 — резервуар грязных промывных вод; 14 — уплотнитель осадка; 15 — фильтр-пресс

Очистные сооружения, построенные по этой схеме, обеспечивают эффективность очистки сточных вод населенного пункта по показателям ХПК — 85%, БПК5 — 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 соединений 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 биологической 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).

Глава 14
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД И ВЫПУСК В ВОДОЕМ

14.1. 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 ЛКП) 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 γ-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.

14.1.1. Обеззараживание воды хлорированием

Наибольшее распространение получил метод хлорирования сточных вод. Бактерицидный эффект хлора и его производных объясняется взаимодействием хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона 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 1 $м^3$ ($г/м^3$).

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:

$$Cl_2 + H_2O \leftrightarrow HClO + HCl.$$

Часть хлорноватистой кислоты HClO 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. 14.1). Его аналогом, выпускаемым в настоящее время, является хлоратор АХВ-1000 производительностью по хлору от 2 до 12 кг/ч.

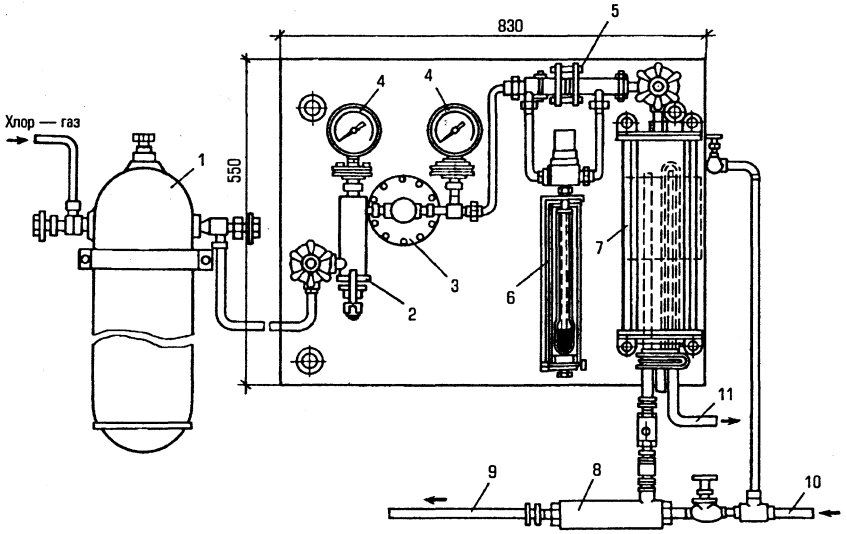


Рис. 14.1. Хлоратор ЛОНИИ-СТО:
1 — промежуточный баллон; 2 — фильтр; 3 — редуктор; 4 — манометры; 5 — измерительная диафрагма; 6 — ротаметр; 7 — смеситель; 8 — эжектор; 9 — трубопровод хлорной воды; 10 — водопроводная вода; 11 — перелив и опорожнение

Приготовление раствора хлора в воде (хлорной воды) осуществляют в хлораторных (рис. 14.2). 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.

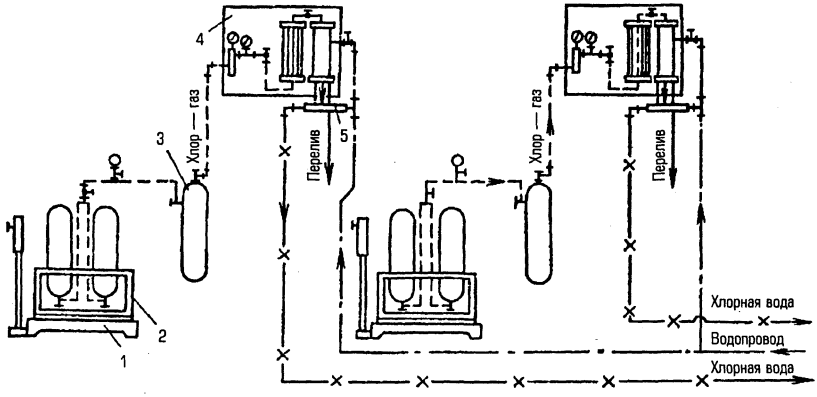


Рис. 14.2. Технологическая схема хлораторной:
1 — весы; 2 — стойка с баллонами; 3 — грязеуловитель (промежуточный баллон); 4 — хлоратор; 5 — эжектор

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 $CaCl_2O$ или $Ca(ClO)_2$ 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. 14.3).

В растворном баке приготавливается раствор NaCl, 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.

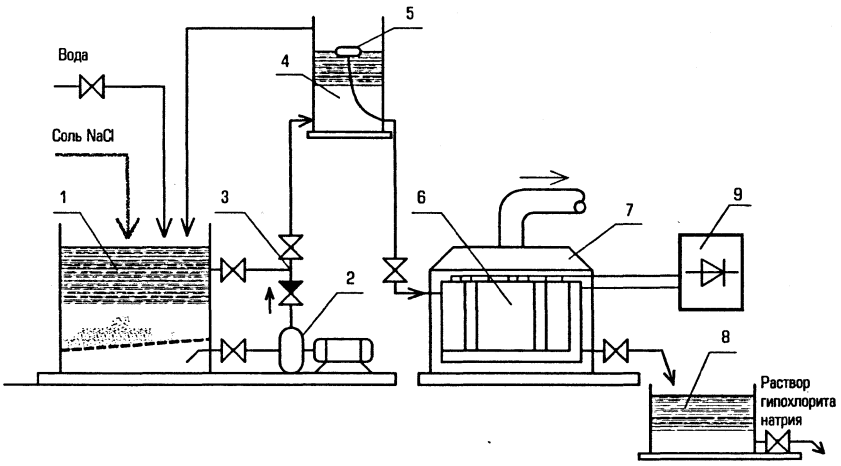


Рис. 14.3. Схема установки для получения гипохлорита натрия электролизом: 1 — растворный бак; 2 — насос; 3 — распределительный тройник; 4 — рабочий бак; 5 — поплавок-дозатор; 6 — электролизер; 7 — зонт вытяжной вентиляции; 8 — бак-накопитель гипохлорита натрия; 9 — источник постоянного тока

В результате реакции хлорноватистой кислоты с едким натром образуется гипохлорит:

$$NaOH + HClO \rightarrow NaClO + H_2O.$$

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. 14.4) 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 пер-

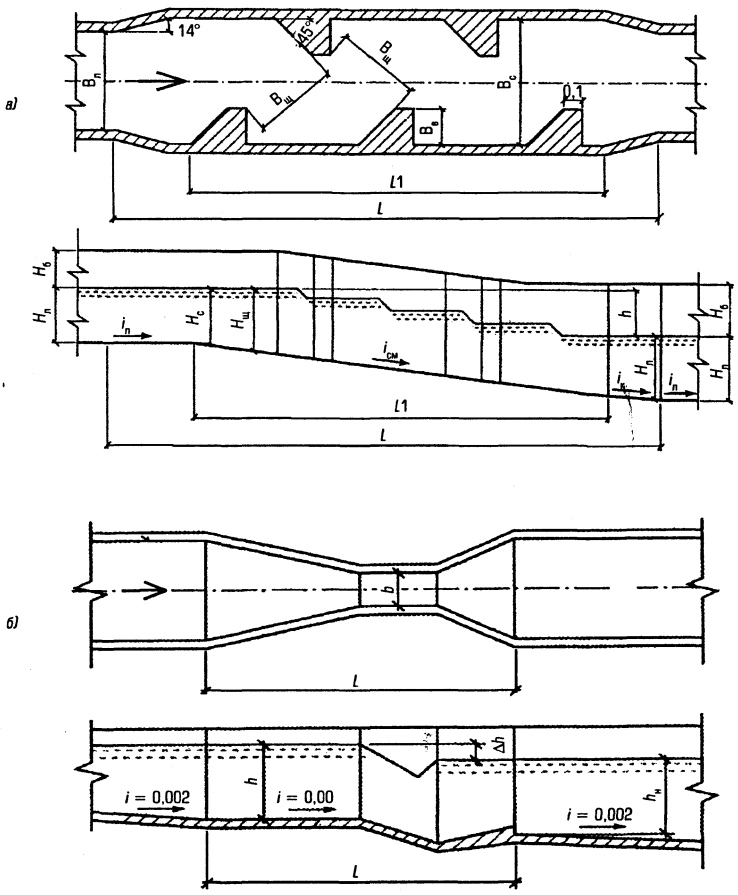


Рис. 14.4. Смесители хлорной воды:
а — ершового типа; *б* — типа лоток Паршаля

вичные горизонтальные отстойники в количестве не менее двух, без скребков, на время пребывания сточных вод 30 мин. При этом учитывается и время протока сточных вод в выпуске. Разработано несколько типовых проектов контактных резервуаров, общий вид одного из них приведен на рис. 14.5. В контактных резервуарах предусматривается периодическое (примерно раз в 5–7 сут) удаление образующегося осадка и перекачка его в приемную камеру очистных сооружений.

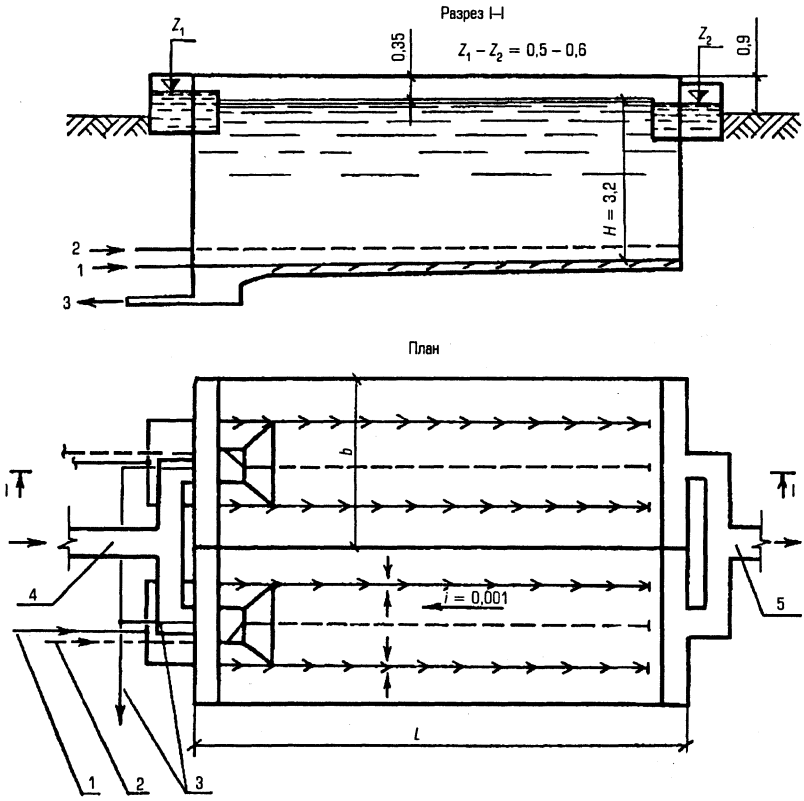


Рис. 14.5. Контактный резервуар для хлорирования сточных вод:
1 — трубопровод технической воды; 2 — трубопровод сжатого воздуха;
3 — трубопровод опорожнения; 4, 5 — лотки подвода и отведения сточной воды

14.1.2. 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 гигие-

нической точки зрения — неспособность к реакциям замещения (в 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 в 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 галогенорганические 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 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. 14.6) включает четыре ступени: забор и сжатие воздуха; охлаждение; осушка и фильтрование воздуха; генерация озона.

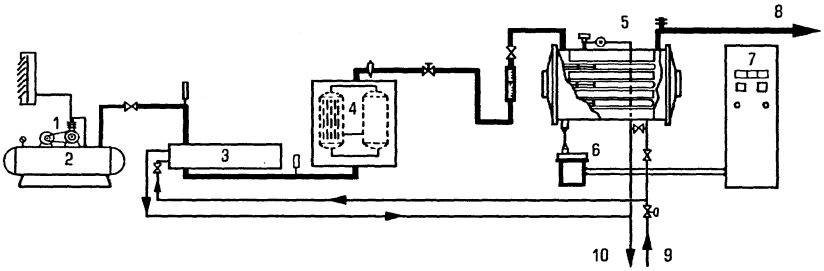


Рис. 14.6. Схема установки получения озона из воздуха:
1 — компрессор; 2 — ресивер; 3 — охладитель воздуха; 4 — осушительная установка; 5 — генератор озона; 6 — высоковольтный трансформатор; 7 — электрический щит управления; 8 — трубопровод озоно-воздушной смеси в контактную камеру; 9, 10 — подача и отведение охлаждающей воды

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 осушенный 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.

Выбор типа контактной камеры определяется расходами обрабатываемой воды и озоно-воздушной смеси, необходимым периодом контакта воды с озоном и скоростью химических реакций.

Контактные камеры. Основные типы контактных камер для обработки воды показаны на рис. 14.7.

Двухсекционная барботажная контактная камера (рис.14.7, *а*) наиболее распространена и применяется как для обеззараживания

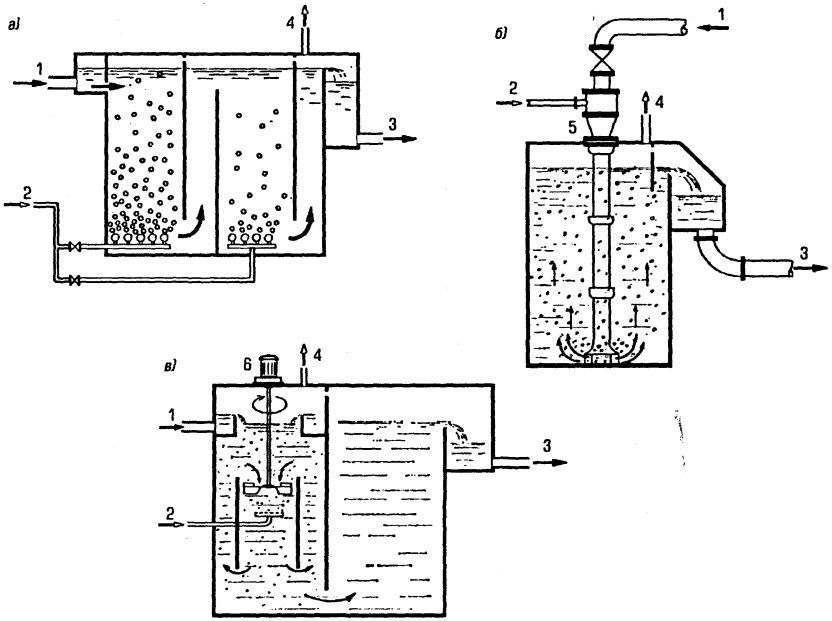


Рис. 14.7. Контактные камеры:
а — двухсекционная барботажная; *б* — камера, оборудованная инжектором; *в* — камера, оборудованная импеллером:
1 — подача сточной воды; 2 — подача озоно-воздушной смеси; 3 — отведение обработанной воды; 4 — выпуск отработанной озоно-воздушной смеси; 5 — инжектор; 6 — импеллерное устройство

сточных вод, так и для их глубокой очистки. Озоно-воздушная смесь диспергируется в воде фильтросными элементами, которые изготавливаются в виде плоских пластин, труб или разных типов диффузоров, из пористых материалов на основе керамики, металлокерамики и пластмасс. Они обеспечивают получение пузырьков газа диаметром 1–4 мм. Барботажные контактные камеры могут быть одно- и многоступенчатыми.

На рис. 14.7, *б* дан пример контактной камеры с инжекцией озоно-воздушной смеси сточной водой, подаваемой под давлением. Водогазовая эмульсия подается инжектором ко дну контактного аппарата, откуда поднимается вместе с обрабатываемой водой.

Контактные камеры, оборудованные механическим смесителем — импеллером (рис. 14.7, *в*), применяются, как правило, для небольших расходов воды. Озоно-воздушная смесь подается в зону

всасывания импеллера, который дробит ее на мелкие пузырьки и смешивает с обрабатываемой водой. Водогазовая эмульсия проходит в верхнюю часть колонны и снова захватывается импеллером. Этим обеспечиваются многократная рециркуляция потока воды и равномерное распределение пузырьков газа по объему реактора.

Количество не использованного в процессе обработки воды озона может составлять 2–8%. С целью предотвращения выбросов в атмосферу не прореагировавшего в контактных аппаратах озона в системе выпуска отработанной озоно-воздушной смеси предусматривают установку деструкторов остаточного озона. Наибольшее распространение получили термические и термокаталитические деструкторы. Термический метод основан на способности озона быстро разлагаться при высоких температурах. В аппаратах термической деструкции озона обрабатываемый газ нагревают до температуры 340–350 °С и выдерживают в течение 3 сек. Термокаталитический метод деструкции основан на быстром разложении озона на кислород и атомарный кислород при температуре 60–120 °С в присутствии катализаторов.

14.1.3. 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 рис. 14.8 представлена установка УДВ-6/6 производительностью 6 $м^3$/ч. Также выпускается оборудование для установок большей производительности безнапорного типа.

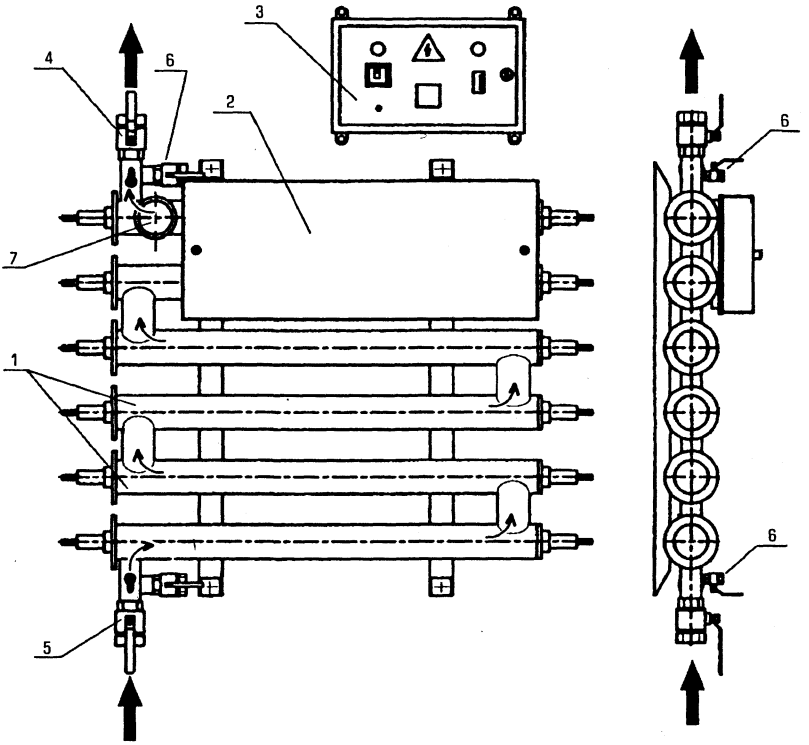


Рис. 14.8. Установка обеззараживания воды УФ-излучением УДВ-6/6:
1 — модули УФ-ламп; 2 — блок питания ламп; 3 — пульт управления установкой;
4 — штуцер отведения обработанной воды; 5 — штуцер подачи сточной воды;
6 — штуцера подключения установки для промывки ламп кислотой;
7 — иллюминатор со светофильтром

14.2. НАСЫЩЕНИЕ ОЧИЩЕННОЙ СТОЧНОЙ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ ПЕРЕД ВЫПУСКОМ В ВОДОЕМ

Очищенные сточные воды практически не содержат растворенного кислорода. Это ухудшает состояние водоема, куда они выпускаются, и замедляет процессы их последующего биологического самоочищения. Для насыщения очищенных сточных вод кислородом перед выпуском их в водоем предусматривают специальные устройства: при наличии свободного перепада уровней между площадкой очистных сооружений и горизонтом воды в водном объекте — многоступенчатые водосливы-аэраторы, быстро-

токи и др., в остальных случаях проектируют барботажные емкостные сооружения.

Для северных городов России при крутом рельефе на выпуске очищенных сточных вод в водоем рекомендуются каскадные аэрационные перепады с фильтрующей загрузкой. Каскадный аэрационный перепад представляет собой систему водосливов-аэраторов, в которой после каждого водослива расположены водоворотная зона и зона фильтрации. В фильтрующей загрузке образуется биологическая пленка, на которой происходят сорбция органических загрязнений и их окисление.

Очищенные сточные воды при искусственной очистке отводят по каналу к месту спуска их в водоем. Отводной канал обычно заканчивается береговым колодцем, из которого очищенные сточные воды через выпуск сбрасываются в водоем. Чем благоприятнее условия для перемешивания выпускаемых сточных вод с водами водоема, чем лучше используется самоочищающая способность водоема, тем более загрязненные сточные воды могут быть сброшены в него.

Выпуски сточных вод классифицируются по типу водоема (речные, озерные и морские), по месту расположения (береговые, русловые и глубинные) и по конструкции (сосредоточенные и рассеивающие).

Береговые сосредоточенные выпуски проектируются в виде открытых каналов, быстротоков, консольных сбросов, оголовков. При этом происходит весьма незначительное разбавление сбрасываемых сточных вод с водой водоема, поэтому использование самоочищающей способности водоемов очень низко. Такие выпуски применяют для сброса дождевых или малозагрязненных сточных вод. Чаще устраивают русловые рассеивающие выпуски (рис. 14.9), обеспечивающие наилучшее смешение сточных вод с речной водой. Глубинные выпуски применяют при сбросе сточных вод в озера, водохранилища, моря.

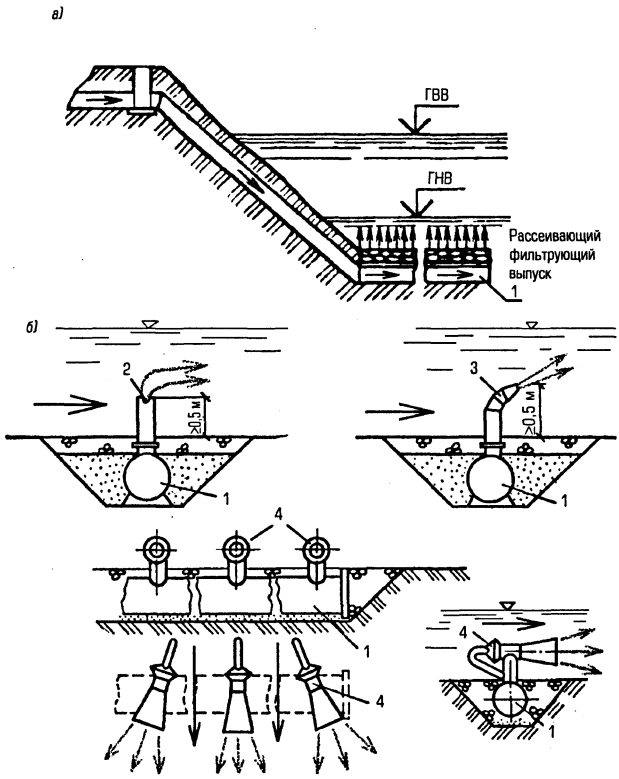


Рис. 14.9. Рассеивающий русловой выпуск сточных вод в реку:
а — общая схема; *б* — виды рассеивающих оголовков:
1 — распределительный трубопровод; 2 — конусный рассекатель;
3 — насадка-конфузор; 4 — эжектор

Глава 15
ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

15.1. СОСТАВ И СВОЙСТВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В процессах механической, биологической и физико-химической очистки сточных вод на очистных сооружениях образуются различного вида осадки, содержащие органические и минеральные компоненты.

В зависимости от условий формирования и особенностей отделения различают осадки первичные и вторичные.

К первичным осадкам относятся грубодисперсные примеси, которые находятся в твердой фазе и выделены из воды такими методами механической очистки, как процеживание, седиментация, фильтрация, осаждение в центробежном поле. Ко вторичным осадкам относятся примеси, первоначально находящиеся в воде в виде коллоидов, молекул и ионов, но в процессах биологической или физико-химической очистки воды или обработки первичных осадков образующие твердую фазу.

Осадки первичные. *Осадок сырой* — задерживается первичными отстойниками. В бытовых сточных водах эти осадки представляют собой студенистую, вязкую суспензию с кисловатым запахом. Органические вещества в них составляют 75–80% и быстро загнивают, издавая неприятный запах. Влажность осадка при самотечном удалении после 2-часового отстаивания принимается 95%, а при удалении из отстойника плунжерными насосами — 93–94%. Механический состав осадков из первичных отстойников отличается большой неоднородностью. Величина отдельных частиц колеблется от 10 мм и более до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности.

Осадки вторичные. *Активный ил*, задерживаемый вторичными отстойниками после аэротенков, представляет биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет хлопьевидную массу бурого цвета. В свежем виде активный ил почти не имеет запаха или пахнет землей, но, загнивая, издает специфический гнилостный запах. По механическому составу активный ил относится к тонким

суспензиям, состоящим на 98% по массе из частиц размером меньше 1 мм. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью — 99,2–99,7%. Биопленка, отделяемая во вторичных отстойниках после биофильтров, менее обводнена; ее влажность в среднем 96%.

К вторичным осадкам также относятся осадки, сброженные в анаэробных условиях, и осадки из аэробных стабилизаторов.

Бактериальная заселенность осадков. В осадках, как и в сточной воде, можно найти многие формы бактерий. Бактериальная заселенность осадков на порядок выше, чем сточных вод. Осадки бытовых стоков содержат большое количество яиц гельминтов.

Осадки сточных вод — это суспензии, в которых дисперсной фазой являются твердые частицы органического и минерального происхождения, а дисперсионной средой — вода с растворенными в ней веществами.

Свойства суспензии во многом зависят от содержания в ней воды, которое определяется понятием «влажность осадка».

Влажность — содержание массы воды в 100 кг осадка, выраженное в процентах:

$$P = 100(m_{\text{о}} - m_{\text{сух}})/m_{\text{ос}}, \tag{15.1}$$

или

$$P = 100\left(1 - \frac{m_{\text{сух}}}{W_{\text{о}}\rho_{\text{ос}}}\right), \tag{15.2}$$

где $m_{\text{о}}$, $m_{\text{сух}}$ — масса исходного осадка и сухой остаток, кг; $W_{\text{о}}$ — объем осадка, м^3; $\rho_{\text{ос}}$ — плотность осадка, кг/м^3.

Косвенная оценка органической части твердой фазы осадка выполняется по показателю «зольность».

Зольность — содержание минеральной части в сухом осадке, выраженное в процентах:

$$S = 100(m_{\text{зол}}/m_{\text{сух}}), \tag{15.3}$$

где $m_{\text{зол}}$ — масса золы, оставшаяся после сжигания сухого остатка, кг.

Обработка осадков, выделяемых в процессах очистки сточных вод, проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве.

Эта цель достигается осуществлением трех основных процессов в различных технологических последовательностях: *стабилизацией*, придающей осадкам способность не выделять вредные продукты

разложения при длительном хранении; *обезвоживанием*, обеспечивающим минимальный объем осадков; *обеззараживанием*, делающим осадок безопасным по санитарно-бактериологическим показателям.

15.2. СТАБИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И АКТИВНОГО ИЛА В АНАЭРОБНЫХ И АЭРОБНЫХ УСЛОВИЯХ

Стабилизация первичных и вторичных осадков достигается путем разложения органической части до простых соединений или продуктов, имеющих длительный период ассимиляции окружающей средой. Эффект стабилизации осадка может быть получен разными методами — биологическими, химическими, физическими, а также их комбинацией. Целесообразность применения того или иного метода стабилизации определяется рядом условий, главными из которых являются вид осадков, их количество, возможность и условия дальнейшего использования, наличие территории для их размещения.

Наибольшее распространение получили методы биологической анаэробной и аэробной стабилизации.

Эффективность процесса анаэробного сбраживания оценивается по степени распада органического вещества, количеству и составу образующегося биогаза, которые, в свою очередь, определяются химическим составом осадка, а также такими основными технологическими параметрами процесса, как *доза загрузки* метантенка, *температура*, *влажность* загружаемого осадка. Кроме того, существенную роль играют такие факторы, как режим загрузки и выгрузки осадка, система его перемешивания и др.

В органическом веществе основную часть (до 80%) составляют жиры, белки и углеводы. Именно за счет их распада образуется все количество выделяющегося биогаза, в том числе 60–65% — за счет распада жиров, остальные 40–35% приходятся примерно поровну на долю углеводов и белков. Отсюда следует, что при сбраживании осадков первичных отстойников, содержащих больше жиров, образуется больше газа, чем при сбраживании активного ила, в котором больше белков. Даже при очень длительной продолжительности пребывания осадка в метантенке указанные компоненты органического вещества распадаются не полностью. Имеется максимальный предел сбраживания и, следовательно,

максимальный выход газа с единицы распавшегося вещества, которые существенно различны у жиров, белков и углеводов. Различен и состав выделяющегося газа.

Пределы распада не зависят от температуры, но скорость распада каждого компонента с повышением температуры возрастает.

Диапазон температур, при котором возможно образование метана в анаэробных микробных процессах, довольно широк. В природе метан образуется при температурах от 0 до 97 °С. Различают три основные температурные зоны жизнедеятельности микроорганизмов: *психрофильная* — до 20 °С; *мезофильная* — от 20 до 45 °С; *термофильная* — от 45 до 70 °С.

Наибольшее практическое применение в обогреваемых метантенках нашли два температурных режима: мезофильный 32–35 °С и термофильный 52–55 °С.

В необогреваемых сооружениях (септиках, двухъярусных отстойниках) анаэробное брожение происходит в психрофильной зоне при температурах, определяемых климатическими условиями.

Термофильный режим сбраживания имеет преимущества перед мезофильным, так как позволяет уменьшить объемы сооружений; кроме того, обеспечивает глубокое обеззараживание осадков не только от патогенной микрофлоры, но и от гельминтов. Однако недостатком термофильного сбраживания является низкая водоотдающая способность сброженного осадка. В свою очередь, мезофильный режим сбраживания не обеспечивает обеззараживания осадка, требует больших объемов метантенков, но позволяет получить сброженный осадок, лучше поддающийся последующему обезвоживанию.

На процесс брожения оказывают ингибирующее действие некоторые органические и неорганические вещества, которые могут содержаться в осадках в значительных концентрациях. К ним в первую очередь относятся тяжелые металлы, сульфиды, синтетические поверхностно-активные вещества, хлорированные углеводороды.

15.2.1. Сооружения для стабилизации осадка в анаэробных условиях

При небольшом количестве осадков применяют септики и двухъярусные отстойники, которые являются комбинированными сооружениями; в них происходят осветление сточной воды и сбраживание (перегнивание) выпавшего осадка. Биологический процесс разложения органической массы в этих сооружениях происходит экстенсивно под влиянием внешних условий. Интенсивный процесс минерализации требует создания специальных условий, оптимально обеспечивающих все его фазы. Для его осуществления применяют метантенки и аэробные минерализаторы.

Метантенки представляют собой герметичные вертикальные резервуары с коническим или плоским днищем, выполненные из железобетона или стали.

В настоящее время разработаны типовые проекты метантенков полезным объемом 500–4000 м^3 и диаметром 10–20 м. Для крупных очистных станций разработаны индивидуальные проекты метантенков с полезным объемом 6000–9000 м^3.

Схема метантенка представлена на рис. 15.1. Уровень осадка поддерживается в узкой горловине метантенка, что позволяет повысить интенсивность газовыделения на единицу поверхности бродящей массы и предотвратить образование плотной корки.

При разработке конструкций метантенков значительное внимание уделяется теплоизоляции резервуаров и обеспечению газонепроницаемости купола.

За рубежом внимание разработчиков было направлено на поиск такой формы резервуара, которая обеспечила бы максимальный рабочий объем при минимальной поверхности, чтобы сократить материалоемкость и теплопотери при строительстве и эксплуатации метантенков. В результате появился ряд конструкций (рис. 15.2), построенных и эксплуатируемых на различных очистных сооружениях. Корпуса метантенков выполнены из железобетона с предварительно напряженной арматурой. В качестве утеплителей могут быть использованы пенополиуретан, минеральная вата, стекловолокно. Для сокращения затрат на теплоизоляцию стенок метантенка применяют обваловку резервуара грунтом либо используют дополнительные ограждающие конструкции, создающие воздушную прослойку между несущей и утепляющей стенками метантенка.

Теплоизоляция купола метантенков выполняется из различных теплоизолирующих материалов. Например, на Ново-Курьянов-

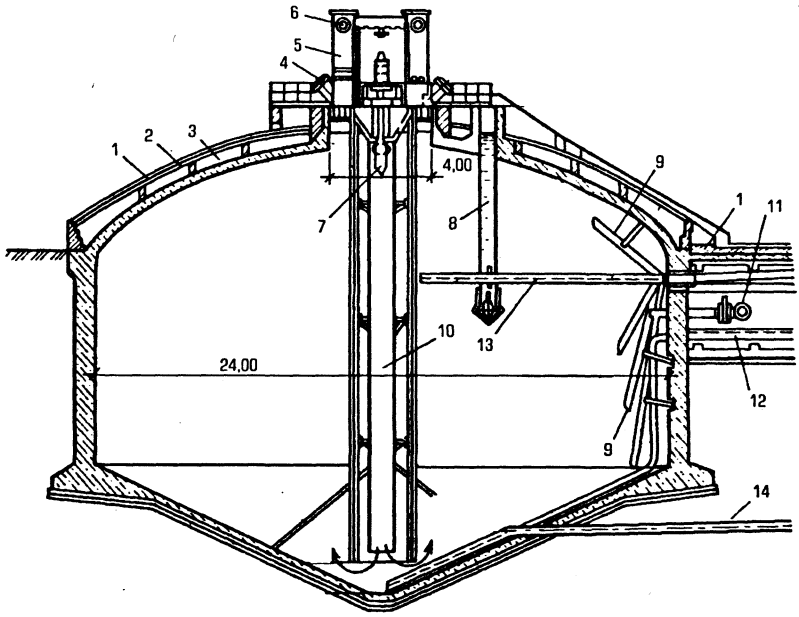


Рис. 15.1. Схема метантенка Ново-Курьяновской станции аэрации:
1 — битумная обмазка; 2 — клинкерная кладка; 3 — теплоизоляция;
4 — контрольный люк; 5 — газосборная горловина; 6 — труба для отвода газа;
7 — механический смеситель; 8 —переливная труба; 9 — выпуск осадка с разных уровней; 10 — направляющая труба для циркуляции иловой смеси;
11 — трубопровод для подачи пара на обогрев; 12 — труба выпуска сброженного осадка; 13 — труба подачи осадка; 14 — труба для опорожнения метантенка

ской станции аэрации газо- и теплоизоляция железобетонного перекрытия метантенков выполнена из 4–5 слоев перхлорвиниловой массы, уложенной по всей его поверхности и покрытой цементной стяжкой. Далее уложен слой шлака толщиной 500 мм, прикрытый цементной стяжкой, а затем — трехслойная рулонная кровля.

Основными конструктивными элементами метантенков, выполняющими определенные технологические функции, являются: система подачи осадков на сбраживание и выгрузки стабилизированного осадка; система подогрева; система перемешивания бродящей массы; система сбора и отвода выделяющегося газа.

Система подачи и выгрузки осадков. В различных конструкциях метантенков подача осадка на сбраживание может осуществляться либо через общую для всех метантенков загрузочную камеру, либо насосом непосредственно в каждый метантенк. Осадок подают в

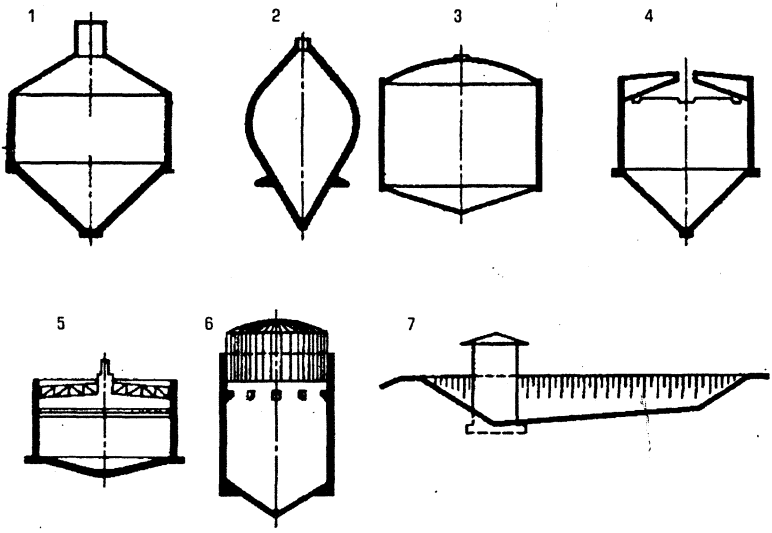


Рис. 15.2. Конструкции метантенков:
1–3 — с неподвижным незатопленным перекрытием; 4 — с неподвижным затопленным перекрытием; 5–6 — с подвижным (плавающим) перекрытием; 7 — открытый

верхнюю зону метантенка, а выгружают из самой нижней точки днища. Максимальное удаление друг от друга трубопроводов подачи и выгрузки предотвращает попадание несброженного осадка в выгружаемую массу. Кроме того, при постоянной выгрузке сброженной массы из нижней части удается замедлить процесс накопления песка, который вместе с осадком из первичных отстойников попадает в метантенк.

Система подогрева осадков. В отечественной практике подогрев осадка наиболее часто осуществляют острым паром. Пар низкого давления с температурой 110–112 °С подается во всасывающую трубу насоса при подаче и перемешивании осадка или непосредственно в метантенк через паровой инжектор. Инжекторы устанавливаются в каждом метантенке. Забирая в качестве рабочей жидкости осадок из метантенка и подавая смесь его с паром снова в метантенк, паровой инжектор обеспечивает и подогрев осадка, и частичное перемешивание бродящей массы.

Система перемешивания бродящей массы. Перемешивание бродящей массы обеспечивает ее однородность во всем объеме метантенка.

С помощью циркуляционных насосов осуществляется циркуляция бродящей массы со дна в верхнюю часть метантенка. Наличие в конструкции метантенка конусного днища предотвращает образование мертвых зон. Перемешивание ведется до тех пор, пока не произойдет полный обмен бродящей массы.

В некоторых конструкциях отечественных метантенков для перемешивания используются пропеллерные мешалки, устанавливаемые под уровнем осадка, в трубе, расположенной в центральной части метантенка.

Использование принципа газолифта для перемешивания осадка предполагает забор осадка из-под купола метантенка или из газгольдера и введение его через вертикальные трубки в метантенк. Увеличение глубины подачи газа при одинаковом его расходе повышает эффективность перемешивания.

Система сбора и отвода газа. Для сбора газа на горловине метантенка устанавливают газовые колпаки, от которых прокладывается специальная газовая сеть из стальных труб с усиленной противокоррозионной изоляцией.

В процессе сбраживания осадков выделение газа происходит неравномерно. Для поддержания постоянного давления в газовой сети на тупиковых концах ее устанавливают аккумулирующие газгольдеры. Мокрый газгольдер состоит из резервуара, заполненного водой, и колокола, перемещающегося на роликах по вертикальным направляющим. Вес колокола уравновешивается противодавлением газа. Благодаря этому при изменении объема газа под колоколом давление в газгольдере и газовой сети остается постоянным. Образующийся в метантенках газ используют как топливо. При невозможности сбора газа предусматривают его сжигание, используя специальное устройство — газовую свечу.

15.2.2. Аэробные стабилизаторы

Аэробная стабилизация осадков сточных вод — процесс окисления эндогенных и экзогенных органических субстратов в аэробных условиях. В отличие от анаэробного сбраживания аэробная стабилизация протекает в одну стадию.

Аэробной стабилизации может подвергаться неуплотненный и уплотненный избыточный активный ил и его смесь с осадком первичных отстойников. При стабилизации только активного ила процесс можно рассматривать как завершающую ступень очистки сточных вод, когда при минимуме растворенных питательных ве-

ществ происходит самоокисление клеточного вещества микроорганизмов.

Степень распада органического вещества и продолжительность процесса зависят от соотношения количеств сырого осадка и активного ила, концентрации органических веществ, интенсивности аэрации, температуры и пр. Процесс аэробной стабилизации обычно происходит в психрофильно-мезофильной зоне жизнедеятельности микроорганизмов при температуре от 10 до 42 °С и затухает при температуре менее 8 °С. Степень распада органических веществ изменяется в среднем от 10 до 50 %, при этом жиры распадаются на 65–75%, белки — на 20–30%, а углеводы практически не распадаются. В процессе аэробной стабилизации при мезофильных температурах наблюдается на 70–90% снижение содержания кишечной палочки и других патогенных бактерий и вирусов, однако при этом яйца гельминтов не погибают.

Продолжительность процесса от 2 до 5 сут для неуплотненного ила, 6–7 сут для смеси неуплотненного ила и осадка из первичных отстойников, до 8–12 сут для смеси уплотненного ила и осадка. Удельный расход воздуха составляет 1–2 $м^3$/ч на 1 $м^3$ объема стабилизатора при интенсивности аэрации не менее 6 $м^3/(м^2 \cdot ч)$.

Аэробная стабилизация осадков проводится обычно в сооружениях типа аэротенков глубиной 3–5 м. Использование других емкостей, построенных на станциях аэрации, например переоборудованных отстойников, уплотнителей и неиспользуемых метантенков, может привести к ухудшению эффективности процесса и увеличению расхода электроэнергии.

Отстаивание и уплотнение аэробно стабилизированного осадка следует проводить в течение 1,5–5 ч в отдельно стоящих илоуплотнителях или в специально выделенной зоне внутри стабилизатора. Влажность уплотненного осадка 96,5–98,5%. Отделенная иловая вода должна направляться в аэротенки.

Процесс аэробной стабилизации может осуществляться по нескольким схемам (рис. 15.3).

Простейшей является схема «*а*», применяемая на очистных сооружениях при отсутствии первичных отстойников. Возможна совместная стабилизация осадка из первичных отстойников с уплотненным активным илом (схема «*б*»).

Перспективной является схема «*в*» анаэробно-аэробной обработки смеси осадка и ила. Анаэробный реактор работает как обычный одноступенчатый метантенк, в котором при увеличении продолжительности сбраживания достигается глубокая стабилизация

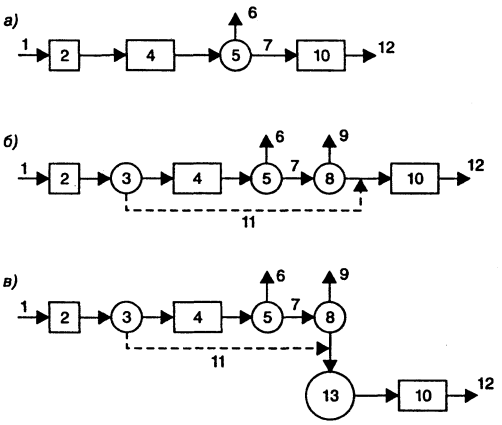


Рис. 15.3. Схемы аэробной стабилизации осадка:
1 — подача сточной воды; 2 — решетка и песколовка; 3 — первичный отстойник; 4 — аэротенк; 5 — вторичный отстойник; 6 — очищенные сточные воды; 7 — избыточный активный ил; 8 — уплотнитель; 9 — иловая вода; 10 — стабилизатор; 11 — осадок из первичного отстойника; 12 — стабилизированный осадок; 13 — метантенк

органического вещества с высоким выходом газа. Мезофильное сбраживание в течение 6 сут с последующей аэробной стабилизацией в течение 3–4 сут позволяет значительно улучшить водоотдающие свойства осадка. При сочетании термофильного сбраживания с аэробной минерализацией достигаются обеззараживание осадка и хорошие показатели влагоотдачи.

Аэробная стабилизация осадков обеспечивает получение биологически стабильных продуктов, хорошие показатели влагоотдачи, простоту эксплуатации и низкие строительные стоимости сооружений. Однако значительные энергетические затраты на аэрацию ограничивают целесообразность использования этого процесса на очистных сооружениях производительностью более 50–100 тыс. $м^3$/сут. Аэробно стабилизированные осадки могут содержать возбудителей инфекционных заболеваний и требуют обеззараживания.

15.3. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

15.3.1. Обезвоживание осадков на иловых площадках

Иловые площадки являются старейшими сооружениями обработки осадка сточных вод. Они предназначены для естественного обезвоживания осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточной воды. В настоящее время, в эпоху интенсивного внедрения сооружений механического обезвоживания осадка, иловые площадки сохраняют свое значение. Привлекательность этих сооружений объясняется простотой конструкций и легкостью эксплуатации.

По степени использования природных процессов площадки можно разделить на две основные категории: иловые площадки *естественного* обезвоживания и сушки и площадки *интенсивного* обезвоживания и сушки.

К первой категории относятся площадки, в которых используются природные процессы испарения и декантации без существенного изменения по сравнению с теми же процессами, происходящими в естественной среде. Как правило, это площадки на естественном основании с поверхностным отводом воды и площадки-уплотнители.

Ко второй категории относятся площадки, в которых определенные факторы природного цикла видоизменены и интенсифицированы. Это площадки с искусственным основанием и дренажем, подогревом, созданием вакуума в дренажной системе, искусственным водонепроницаемым покрытием.

Применение того или иного вида площадок зависит от местных условий: специфики климата, наличия дополнительных источников энергии, свободных площадей.

Площадки естественного обезвоживания и сушки. На площадках естественного природного цикла осадок обезвоживается в процессе уплотнения и последующего отвода иловой воды, а также подсыхания.

Иловые площадки состоят из карт, окруженных со всех сторон валиками (рис. 15.4). Размеры карт и число выпусков определяют исходя из влажности осадка, дальности его разлива и способа уборки после подсыхания.

Иловые площадки на естественном основании проектируются на хорошо фильтрующих грунтах при залегании грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и только тогда, когда

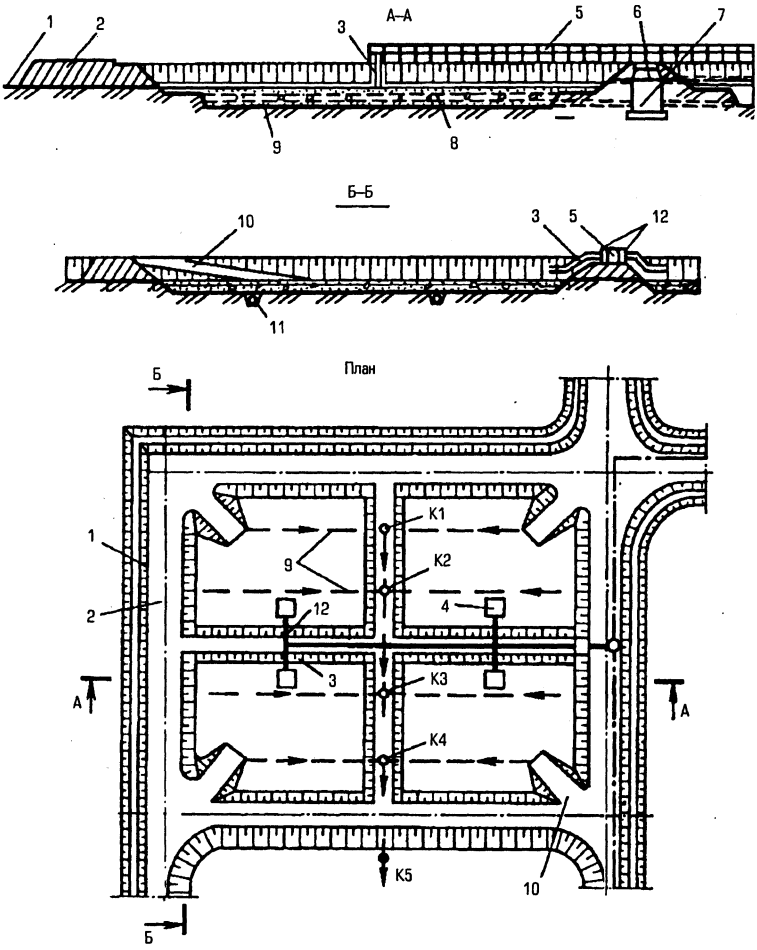


Рис. 15.4. Иловые площадки на естественном основании с дренажем:
1 — кювет оградительной канавы; 2 — дорога; 3 — сливной лоток;
4 — щит под сливным лотком; 5 — разводящий лоток; 6 — дренажный колодец;
7 — сборная дренажная труба; 8 — дренажный слой; 9 — дренажные трубы;
10 — съезд на карту; 11 — дренажная канава; 12 — шиберы; К1— К5 — колодцы

допускается фильтрация иловой воды в грунт. Если глубина залегания грунтовых вод меньше 1,5 м, то необходимо понижение их уровня.

Дальность разлива осадка с влажностью около 97% может составлять 75–100 м. Узкие площадки предпочтительнее при планировке на территории, имеющей хорошо выраженный уклон.

Подсушенный осадок сгребается бульдозерами или скреперами, нагружается в автомашины и отвозится. Влажность подсушенного осадка 75%.

Для съезда на карты автотранспорта и средств механизации на иловых площадках устраиваются дороги с пандусами.

При плотных и водонепроницаемых грунтах устраиваются иловые площадки на естественном основании с трубчатым дренажем, укладываемом в дренажные канавы. Искусственное дренирующее основание иловых площадок должно составлять не менее 10% их площади.

Иловые площадки каскадного типа на естественном основании с поверхностным отводом воды через колодцы-монахи, установленные в торцах карт, являются иловыми площадками переходного типа (рис. 15.5). стенки колодцев-монахов со стороны карт представляют собой дренажные стенки из двойной арматурной сетки с гравийной загрузкой крупностью 15–20 мм. После заполнения карт иловой площадки осадком и слива отделившейся иловой воды дальнейшее обезвоживание осадка осуществляется путем испарения с поверхности оставшейся влаги.

Усовершенствованным вариантом площадок каскадного типа являются площадки-уплотнители. Иловые площадки-уплотнители представляют собой прямоугольные железобетонные резервуары (карты) с отверстиями, расположенными в продольной стенке на разных глубинах и перекрытыми шиберами. Для выпуска иловой воды, выделяющейся при отстаивании осадка, по высоте продольных стен карт-резервуаров устраивают отверстия, перекрываемые шиберами. Иловую воду направляют для очистки в голову сооружений по аналогии с иловыми площадками с отстаиванием и поверхностным удалением воды.

Недостатком площадок естественного природного цикла является их полная зависимость от климатических факторов.

Иловые площадки интенсивного обезвоживания и сушки можно подразделить на традиционные и усовершенствованные. К первой категории относятся иловые площадки с искусственным дренажем, ко второй — площадки с созданием вакуума в дренажной системе, искусственным водонепроницаемым покрытием, с продувкой воздухом и нагревом.

Иловые площадки с искусственным дренажем проектируются с целью получения чистого фильтрата и повышения скорости обезвоживания. Фильтрование через горизонтальную дренажную сис-

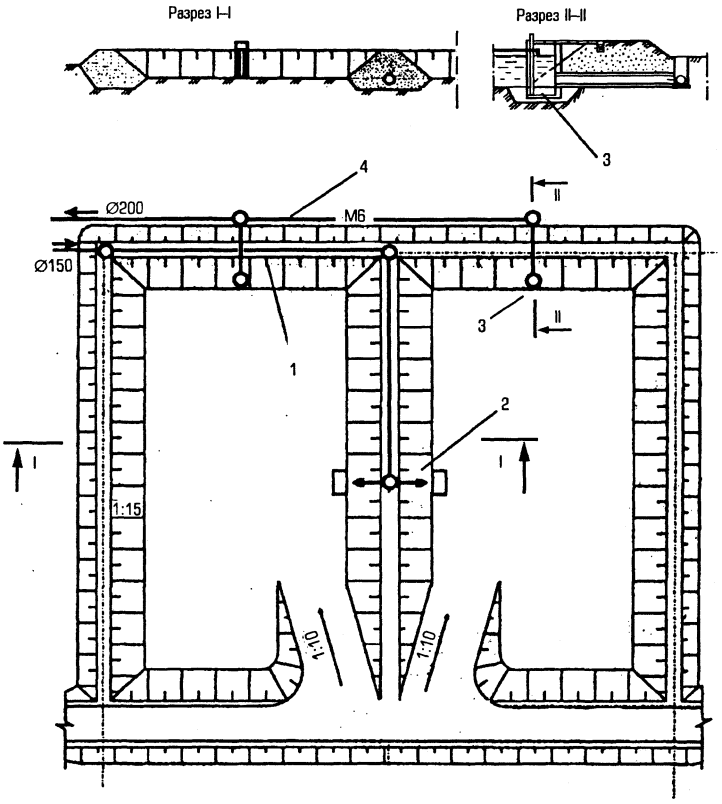


Рис. 15.5. Иловые площадки на естественном основании без дренажа с поверхностным отводом иловой воды:
1 — распределительный трубопровод; 2 — сливной лоток; 3 — колодец-монах; 4 — трубопровод иловой воды

тему может осуществляться фильтрующими панелями со специальными отверстиями или дренажными трубами.

Для интенсификации процесса сушки осадка предлагается продувка его воздухом непосредственно на площадке.

За рубежом иловые площадки часто защищают от атмосферных осадков прозрачным покрытием. Такое покрытие может существенно улучшить работу площадок, особенно в условиях холодного и влажного климата. Опыт показал, что в некоторых случаях устройство покрытия позволяет на 33% снизить площадь, необходимую для сушки осадков.

В нашей стране закрытые площадки, остекленные по типу оранжерей, рекомендуется применять в курортных районах для экономии площадей и снижения интенсивности запахов.

Асфальтированные иловые площадки с центральным дренажем и подогревом применяются в США. Тепловая энергия, получаемая при сжигании биогаза очистных сооружений, используется для нагрева воды, которая циркулирует в трубах, расположенных в заасфальтированной части площадок. Иловые площадки подогреваются, но не закрыты. Для кондиционирования осадков применяются полиэлектролиты. Время подсушки осадка в среднем составляет 5 сут и увеличивается до 12 сут в период дождей.

15.3.2. Механическое обезвоживание осадков

Для очистных станций средней и большой пропускной способности обезвоживание осадков на иловых площадках часто оказывается невозможным из-за отсутствия свободных земельных площадей для их устройства. В городах с развитой инфраструктурой использование процессов естественной сушки осадков нерационально как с экономической, так и с экологической точки зрения. В настоящее время механическое обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах и центрифугах является оптимальным методом их переработки.

15.3.2.1. Подготовка осадка для механического обезвоживания

Осадки, образующиеся на очистных сооружения населенных мест, характеризуются неудовлетворительными показателями водоотдачи, что затрудняет применение процессов их механического обезвоживания. Для увеличения водоотдачи необходимо изменить структуру осадка. Изменение структуры осадков позволяет добиваться более глубокого и быстрого их обезвоживания. Процессы подготовки осадков к обезвоживанию называют *кондиционированием*.

Методы кондиционирования подразделяются на реагентные и безреагентные.

Реагентные методы предполагают использование для обработки осадков неорганических реагентов (хлорное железо, сернокислое железо, известь) или органических высокомолекулярных соединений — полиэлектролитов (ПЭ). Те и другие приводят к увеличению влагоотдачи осадков.

В результате такой обработки удельное сопротивление осадка значительно снижается и осадок легче отдает воду. Кондиционирование осадков минеральными реагентами имеет ряд существенных недостатков, к которым относятся: большой массовый расход; высокая коррозионная активность; трудности с транспортировкой и хранением; внесение большого количества (до 40%) дополнительных веществ.

Однако эти проблемы разрешимы при использовании органических высокомолекулярных реагентов полиэлектролитов.

Безреагентное кондиционирование осуществляется в основном методами тепловой обработки осадков.

Сущность метода *тепловой обработки осадков* состоит в их прогревании в реакторе при температуре 140–200 °С в течение определенного времени. Схема установки тепловой обработки осадка дана на рис. 15.6. Исходный осадок после нагревания в теплообменнике обработанным осадком подается в реактор. В реакторе осадок выдерживается 60–75 мин при давлении 1,2–2 МПа. Для догревания осадка в реакторе используется острый пар.

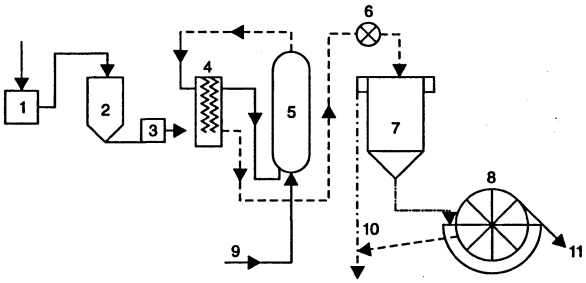


Рис. 15.6. Схема тепловой обработки и механического обезвоживания осадков городских сточных вод:
1 — дробилка; 2 — резервуар дробленого осадка; 3 — насос; 4 — теплообменник; 5 — реактор; 6 — дросселирующее устройство; 7 — уплотнитель; 8 — вакуум-фильтр; 9 — подача пара; 10 — отвод иловой воды и фильтрата; 11 — отвод кека

В процессе тепловой обработки происходят распад органических веществ, в основном белков, их растворение и переход твердой фазы осадков в жидкую. При этом изменяется структура осадков, их зольность и частично химический состав, достигаются улучшение водоотдачи и обезвреживание осадков. Тепловой обработке могут подвергаться как сброженные, так и сырые осадки.

Одним из достоинств метода тепловой обработки является полная стерильность обработанного осадка. При механическом обезвоживании такого осадка образуется кек влажностью 55–70%, что позволяет исключить термическую сушку осадка.

К недостаткам метода относятся сложность конструкции реактора, большие энергетические затраты и высокая концентрация органических веществ в иловой воде и фильтрате, которые необходимо направлять на биологическую очистку. При тепловой обработке выделяются дурно пахнущие газы, требующие предварительной очистки перед выбросом их в атмосферу.

15.3.2.2. Процессы и оборудование для механического обезвоживания осадков

Процессы и аппараты, применяемые для обезвоживания осадков сточных вод, можно классифицировать по виду механического воздействия на их структуру:

- обезвоживание осадков под действием разряжения;
- обезвоживание осадков под действием давления;
- обезвоживание осадков в поле центростремительных сил.

Обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах. На вакуум-фильтрах можно обрабатывать практически любые виды осадков.

Барабанный вакуум-фильтр — вращающийся горизонтально расположенный барабан, частично погруженный в корыто с осадком (рис. 15.7). Барабан имеет две боковые стенки: внутреннюю — сплошную и наружную — перфорированную, обтянутую фильтровальной тканью. Пространство между стенками разделено на 16–32 секции, не сообщающиеся между собой. Каждая секция имеет отводящий коллектор, входящий в торце в цапфу, к которой прижата неподвижная распределительная головка. В зоне фильтрования осадок фильтруется под действием вакуума. Затем осадок просушивается атмосферным воздухом. Фильтрат и воздух отводятся в общую вакуумную линию. В зоне съема осадка в секции подается сжатый воздух, способствующий отделению обезвоженного осадка от фильтровальной ткани. Осадок снимается с барабана ножом. В зоне регенерации ткань продувается сжатым воздухом или паром. Для улучшения фильтрующей способности ткани через 8–24 ч работы фильтр регенерируют — промывают ингибированной кислотой или растворами ПАВ. Выпускаются барабанные вакуум-фильтры с фильтрующей поверхностью от 2,5 до 40 м^2.

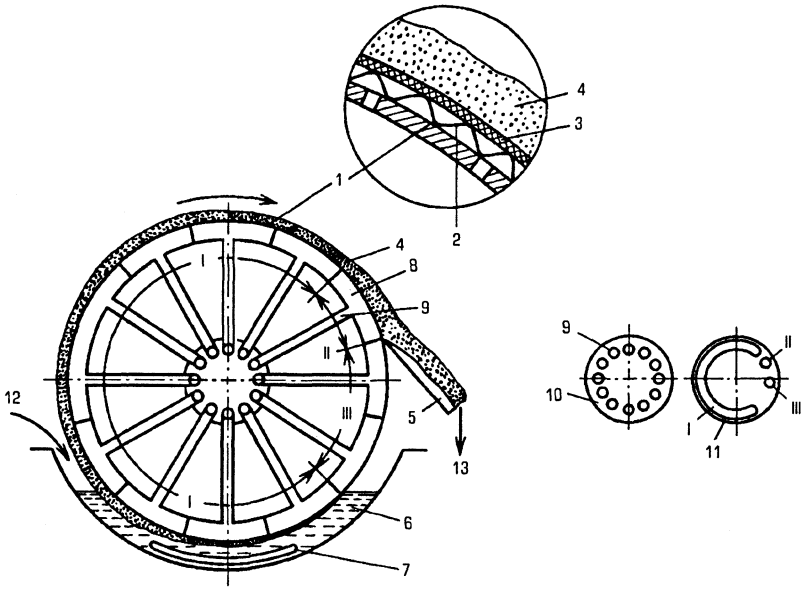


Рис. 15.7. Барабанный вакуум-фильтр:
1 — перфорированный барабан; 2 — латунная сетка; 3 — фильтровальная ткань; 4 — слой осадка; 5 — нож для съема кека; 6 — резервуар для осадка; 7 — качающаяся мешалка; 8 — камеры барабана; 9 — соединительные трубки; 10 — вращающаяся часть распределительной головки; 11 — неподвижная часть распределительной головки; 12 — подача осадка на обезвоживание; 13 — отведение кека; I — зона фильтрования и отсоса фильтрата; II — зона съема кека; III — зона регенерации фильтровальной ткани

Обезвоживание осадков сточных вод на фильтр-прессах. Фильтр-прессы имеют широкое распространение для обезвоживания осадков сточных вод. Их применяют для обработки сжимаемых аморфных осадков. По сравнению с вакуум-фильтрами на фильтр-прессах получают осадки с меньшей влажностью. Фильтр-прессы применяют в тех случаях, когда осадок направляют после обезвоживания на сушку или сжигание или когда необходимо получить осадки для дальнейшей утилизации с минимальной влажностью.

В технологический блок фильтр-пресса (рис. 15.8) входит комплекс вспомогательного оборудования. Работа этого комплекса контролируется и управляется центральным компьютером.

Кондиционированный осадок подается на фильтр-пресс насосами при возрастающем давлении. Давление фильтрования поднимается до 1,5 МПа. Период подачи осадка и образования слоя

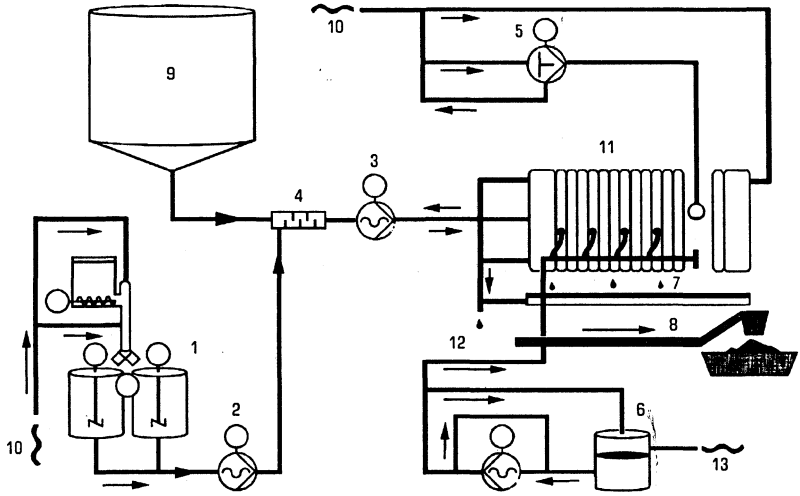


Рис. 15.8. Технологическая схема механического обезвоживания осадков на мембранно-камерном фильтр-прессе:
1 — система приготовления флокулянта; 2 — система дозирования флокулянта; 3 — система подачи осадка; 4 — система смешения осадка с флокулянтом; 5 — система промывки фильтровального полотна; 6 — система дожима мембран; 7 — система отвода капельных утечек и воды от промывки ткани; 8 — система отвода обезвоженного осадка; 9 — резервуар исходного осадка; 10 — подача воды питьевого качества; 11 — мембранно-камерный фильтр-пресс; 12 — отвод фильтрата; 13 — подача технической воды

кека обычно составляет 20–30 мин. Длительность выгрузки — около 15 мин. Общая продолжительность фильтроцикла в среднем составляет 90 мин. При влажности исходного осадка 94–97% снимается кек влажностью 68–70%.

Результаты эксплуатации фильтр-прессов на очистных сооружениях показали их надежность, высокую производительность и удобство обслуживания.

В отличие от вакуум-фильтров процесс фильтр-прессования осадков в камерных фильтр-прессах периодический.

Применяются также ленточные фильтр-прессы. Они относительно просты и по конструкции, и в эксплуатации. Принципиальная схема такого пресса показана на рис. 15.9.

Пресс имеет верхнюю и нижнюю фильтровальные ленты. Фильтрование и отжим осуществляются в пространстве между этими лентами. Обезвоженный осадок срезается ножом и сбрасывается в конвейер. Фильтровальная лента непрерывно промывается водой. Фильтрат и промывная вода отводятся из поддона. Суще-

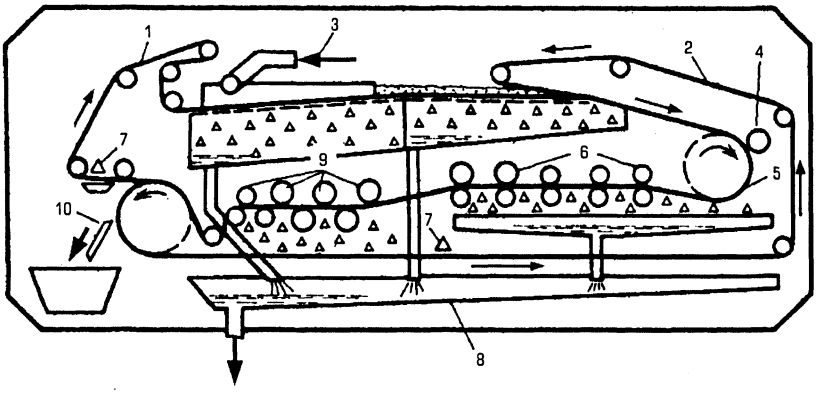


Рис. 15.9. Схема ленточного фильтр-пресса Лпр-10-1,2-001:
1 и 2 — верхняя и нижняя фильтровальные ленты; 3 — подача осадка; 4 — прижимной ролик; 5 — фильтрующий барабан; 6 — система отжимных шаров; 7 —система промывки лент; 8 — поддон для сбора фильтрата; 9 — система отжимных валов; 10 — нож для отделения осадка

ствуют также конструкции вертикальных ленточных фильтр-прессов. Большинство ленточных фильтр-прессов конструктивно сочетают гравитационный ленточный фильтр и барабанный пресс. Процесс обезвоживания осадка непрерывный.

Центрифугирование осадков — разделение твердой и жидкой фаз в поле центростремительных сил. Достоинствами этого метода являются простота, экономичность и управляемость процессом. После обработки на центрифугах получают осадки низкой влажности.

Центрифугирование осадков производится с применением минеральных коагулянтов или ПЭ. При использовании ПЭ обезвоженный осадок имеет меньшую влажность, центрифуга — большую разделяющую способность, а образующийся фугат — меньшую загрязненность.

Работа центрифуг характеризуется такими показателями, как производительность, эффективность задержания сухого вещества и влажность обезвоженного осадка (кека). Показатели работы центрифуги зависят от геометрических размеров ротора, скорости его вращения, диаметра сливного цилиндра, влажности осадка, плотности и дисперсионного состава его твердой фазы и других факторов.

В отечественной практике для обработки осадков сточных вод применяют серийные, непрерывно действующие осадительные центрифуги типа ОГШ (рис. 15.10).

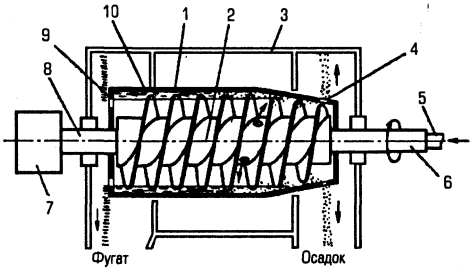


Рис. 15.10. Принципиальная схема устройства центрифуги типа ОГШ:
1 — цилиндроконический ротор; 2 — шнек; 3 — неподвижный кожух;
4 — разгрузочные окна для осадка; 5 — питающая труба; 6 — вал ротора;
7 — планетарный редуктор; 8 — вал шнека; 9 — сливные окна для фугата;
10 — жидкостный объем ротора

Основными элементами центрифуги являются конический ротор со сплошными стенками и полый шнек. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центростремительных сил твердые частицы осадка отбрасываются к стенкам ротора и вследствие разности частоты вращения ротора и шнека перемещаются к отверстию в роторе, через которое обезвоженный осадок (кек) поступает в бункер. Отделившаяся жидкая фаза (фугат) отводится через отверстия, расположенные с противоположной стороны ротора.

Технико-экономические расчеты и эксплуатационные данные показывают, что применение центрифуг для обработки осадков сточных вод экономически целесообразно для станций пропускной способностью 70–100 тыс. $м^3$/сут.

Сопоставление методов и аппаратов для механического обезвоживания осадков (табл. 15.1) показывает, что каждый из них имеет определенные преимущества и недостатки.

Таблица 15.1

Сопоставление методов механического обезвоживания осадков сточных вод

Оборудование	*Преимущества*	*Основные недостатки*
Вакуум-фильтры	Возможность обработки осадков без выделения песка и распространения запаха; сокращение топливно-энергетических расходов на термосушку; отсутствие быстроизнашивающихся узлов	Применение минеральных реагентов, вакуум-насосов; периодические замены фильтровальной ткани, повышенный расход электроэнергии

Окончание табл. 15.1

Оборудование	*Преимущества*	*Основные недостатки*
Камерные и рамные фильтр-прессы	Низкие влажность обезвоженного осадка и топливно-энергетические расходы на термосушку и сжигание	Низкая удельная производительность (с единицы поверхности); повышенный расход реагентов; периодичность действия; необходимость замены фильтровального полотна по мере износа
Ленточные фильтр-прессы	Отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов; сокращение расхода электроэнергии; отсутствие необходимости выделения крупных включений и песка из осадков	Повышенные габариты по сравнению с центрифугами; возможность распространения запаха; увеличенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливно-энергетические расходы на термосушку; необходимость периодической замены фильтровальной ткани
Центрифуги	Компактность установок; возможность работы по безреагентным схемам и с применением ПЭ	Необходимость извлечения из осадков крупных включений и песка, периодической наплавки или замены шнеков; повышенные по сравнению с вакуум-фильтрами топливно-энергетические расходы на термосушку
Виброфильтры	Простота конструкции, отсутствие быстроизнашивающихся деталей и узлов	Невысокая степень обезвоживания; значительные потери твердой фазы с фильтратом; низкая удельная производительность

При выборе оборудования для обезвоживания осадков сточных вод большое значение имеет увязка их параметров и режима работы со всей технологической схемой обработки и утилизации осадков, а также с работой сооружений по очистке сточных вод.

15.4. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Исследования санитарного состояния осадков, образующихся в процессах очистки сточных вод населенных мест, показывают, что не только первичные, но и сброженные в мезофильных условиях смеси содержат большое количество гельминтов и патогенных микроорганизмов. Попадая в благоприятные условия, яйца гельминтов проходят инвазионную стадию развития и становятся способными заражать людей и животных.

Во многих случаях задача обеззараживания осадков решается в основных процессах их обработки, например при термофильной стабилизации, тепловой обработке, термосушке и сжигании. Как самостоятельная она ставится в случае дальнейшего их использования в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения.

Широкое практическое применение для этих целей получили биотермические, термические и химические методы обеззараживания осадков.

15.4.1. Биотермическая обработка осадков сточных вод

Биотермический процесс разложения органических веществ осадков, осуществляемый под действием аэробных микроорганизмов с целью стабилизации, обеззараживания и подготовки осадков к утилизации в качестве удобрения, называется *компостированием.*

Компостирование позволяет существенно сократить топливно-энергетические расходы на обеззараживание осадков и улучшить их санитарно-гигиенические показатели (вследствие гибели болезнетворных микроорганизмов, яиц гельминтов и личинок мух). В процессе жизнедеятельности аэробных микроорганизмов происходят потребление и расход органических веществ, поэтому биотермический процесс наиболее эффективен при компостировании сырых несброженных осадков. Возможно применение процесса биотермической обработки в сочетании с анаэробным сбраживанием осадков в мезофильных условиях.

Процесс компостирования состоит из двух фаз. Первая фаза продолжается в течение 1–3 недель и сопровождается интенсивным развитием микроорганизмов, а температура осадка повышается до 50–80 °С. При этом происходит обеззараживание осадка и сокращение его массы.

Вторая фаза — созревание компоста — более длительная. Она продолжается от двух недель до 3–6 месяцев и сопровождается развитием простейших и членистоногих организмов, понижением температуры до 40 °С и ниже. Повышение температуры окружающего воздуха интенсифицирует процесс разложения органических веществ.

В результате проведения процесса биотермической обработки получают компост в виде сыпучего материала влажностью 40–50%. Готовый компост не имеет запаха, не загнивает и является хорошим удобрением.

Основные технологические операции процесса компостирования приведены на рис. 15.11.

В последние годы разработаны и применяются различные способы компостирования осадков, среди которых можно выделить механическое компостирование. Технологические операции процесса компостирования аналогичны.

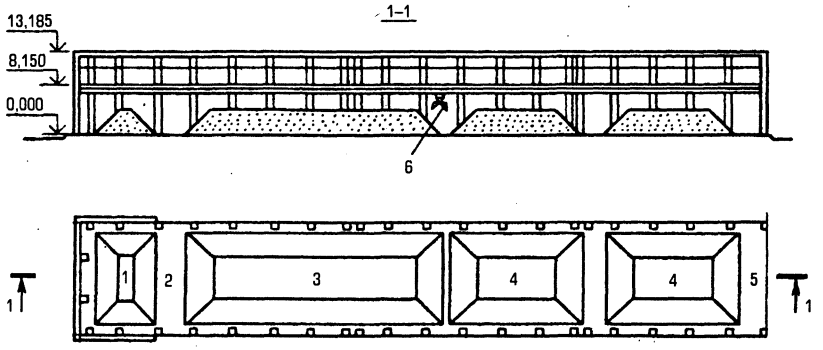


Рис. 15.11. Типовое сооружение компостирования осадка:
1 — закрытая площадка для хранения присадочного материала; 2 — площадка для погрузки готового компоста; 3 — площадка дозревания; 4 — площадка компостирования; 5 — площадка смешения осадка с присадочным материалом; 6 — кран

Для осуществления способа *механического компостирования* в качестве основного оборудования используют разнообразные конструкции механизированных реакторов-смесителей. Продолжительность процесса компостирования в механизированных реакторах-смесителях в среднем 7 сут.

15.4.2. Термическое обеззараживание осадков

При термическом режиме 52–56 °С в течение 5 мин погибают многие патогенные бактерии, при температуре 62–74 °С и времени экспозиции до 30 мин отмирают вирусы. Поэтому термическая пастеризация опасных в санитарном отношении осадков является обязательной стадией их обработки, особенно в технологических процессах, предусматривающих утилизацию осадка.

Обеззараживание радиационным термическим нагреванием обезвоженных осадков проводят на установках по дегельминтизации (рис. 15.12), состоящих из ленточного конвейера с приемным бункером и газовых горелок инфракрасного излучения.

Для создания слоя осадка толщиной 10–25 мм бункер оборудован подвижными стенками и регулировочными валами. Температура прогревания осадка регулируется скоростью движения ленты, числом работающих горелок и толщиной слоя осадка. При движении по конвейеру осадок нагревается до температуры 60–65 °С.

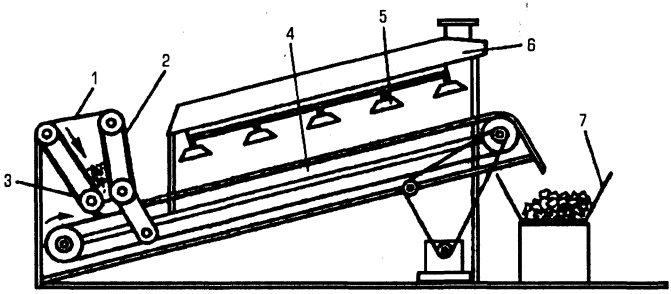


Рис. 15.12. Схема установки по дегельминтизации осадков:
1 — приемный бункер; 2 — подвижные стенки бункера; 3 — регулировочные валы; 4 — металлическая лента конвейера; 5 — газовые горелки инфракрасного излучения; 6 — вытяжной зонт; 7 — конвейер обработанного осадка

15.4.3. Химическое обеззараживание осадков

Для химического обеззараживания осадков применяют известь, аммиак, тиазон, формальдегид и мочевину. Остаточное содержание в осадках названных веществ предотвращает реактивацию патогенных микроорганизмов и поддерживает стабильность осадков. Химическим методом можно осуществлять обеззараживание как жидких, так и обезвоженных осадков сточных вод.

Добавление к осадкам извести повышает величину pH до 10 и более, они теряют запах, в них подавляется развитие санитарно-показательных микроорганизмов (кишечной палочки и энтерококка). Однако щелочная среда не оказывает существенного влияния на яйца гельминтов. Деструкция и гибель яиц гельминтов происходят при введении в осадки только негашеной извести, которая наряду с увеличением щелочности осадков повышает их температуру.

В последние годы получают распространение способы обеззараживания осадков химическими веществами, которые применяются либо для удобрения почвы, либо для уничтожения вредных почвенных микроорганизмов или сорняков. К таким веществам относятся аммиак (аммиачная вода), формальдегид и др.

Применение извести, аммиака, тиазона, формальдегида и мочевины позволяет использовать двойное их действие — на осадки и почву, что приводит к снижению эксплуатационных затрат на обеззараживание осадков и подготовку их к утилизации в качестве удобрения. Однако доза внесения осадков, обработанных химическими веществами, должна устанавливаться с учетом их действия на окружающую среду.

Общая характеристика процессов обеззараживания осадков сточных вод приведена в табл. 15.2. На крупных станциях аэрации целесообразно применение термической сушки механически обезвоженных осадков, позволяющей сократить транспортные расходы и получить удобрение из осадков в виде сыпучих материалов. Для сокращения топливно-энергетических расходов на станциях аэрации пропускной способностью до 20 тыс. $м^3$/сут целесообразно применение камер дегельминтизации, до 50 тыс. $м^3$/сут — методов химического обеззараживания. В случаях когда осадок не подлежит утилизации в качестве удобрения, может применяться сжигание с использованием получаемого тепла.

Таблица 15.2

Показатели методов обеззараживания осадков сточных вод

Процесс	*Расход теплоты, МДж на 1 $м^3$ обезвоженного осадка*	*Влажность после обработки, %*	*Преимущества*	*Основные недостатки*
Обработка в камерах дегельминтизации	600–700	60–70	Простота эксплуатации, невысокий расход топлива	Относительно высокие влажность и стоимость транспортировки осадка
Термическая сушка в сушилках со встречными струями	1900–2800	35–40	Сокращаются транспортные расходы, упрощается утилизация как удобрения, так и топлива	Высокий расход топлива, потребность в квалифицированном персонале, необходимость очистки отходящих газов
Биотермическая обработка (компостирование)	–	45–50	Сокращаются топливно-энергетические и транспортные расходы, готовится качественное удобрение	Необходимость устройства площадок с водонепроницаемым покрытием и применения наполнителей (бытовых отходов, готового компоста, торфа, опилок и т.п.)
Сжигание с использованием получаемой теплоты	от –300 до +1800	–	Значительно сокращаются транспортные расходы, возможно по лучение дополнительной теплоты	Необходимость эффективной очистки отходящих газов, потребность в квалифицированном персонале

15.5. ТЕРМИЧЕСКАЯ СУШКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Термическая сушка предназначена для обеззараживания и уменьшения массы осадков сточных вод, предварительно обезвоженных на вакуум-фильтрах, центрифугах или фильтр-прессах. Этот прием упрощает задачу удаления осадков с территорий очистных станций и их дальнейшей утилизации.

Осадок после термической сушки представляет собой незагнивающий, свободный от гельминтов и патогенных микроорганизмов сухой сыпучий материал.

Наиболее распространен конвективный способ сушки, при котором необходимая для испарения влаги тепловая энергия непосредственно передается высушиваемому материалу теплоносителем — сушильным агентом. В качестве сушильного агента могут использоваться топочные газы, перегретый пар или горячий воздух.

Применение топочных газов предпочтительно, так как процесс сушки осадков производится при относительно высоких температурах (500–800 °С), что позволяет уменьшить габариты сушильных установок и расход энергии на транспортирование отходящих газов.

Сушилки конвективного типа можно разделить на два типа. В сушилах первого типа осадок не смешивается с потоком сушильного агента. Наиболее известный вид сушилок этого типа — барабанные. Во втором типе сушилок частицы осадка перемещаются и перемешиваются потоком сушильного агента. К этому типу относят сушилки со встречными струями, а также сушилки с кипящим и фонтанирующим слоем.

Любая сушильная установка состоит из сушильного аппарата и вспомогательного оборудования — топки с системой топливоподачи, питателя, циклона, скруббера, тягодутьевых устройств, конвейеров и бункеров, контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Барабанные сушилки работают по схеме с прямоточным движением осадка и сушильного агента, в качестве которого применяют топочные газы. На рис. 15.13 показана сушилка барабанного типа.

Сушильный агрегат состоит из топки, сушильной камеры и вентиляционного устройства. Со стороны входа находится загрузочная камера, а со стороны выхода — разгрузочная. Топка рас-

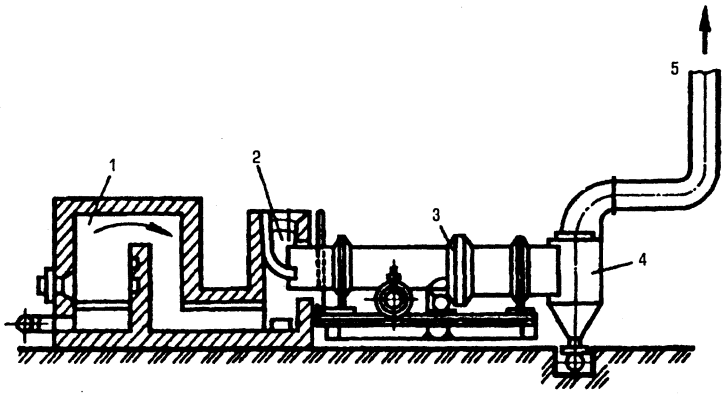


Рис. 15.13. Барабанная сушилка:
1 — топка; 2 и 4 — загрузочная и разгрузочная камеры; 3 — барабан;
5 — отвод дымовых газов

положена со стороны входа в сушильную камеру. Для отсоса отработавших газов устанавливают вентилятор. Барабан установлен наклонно к горизонту под углом 3–4°, опирается на катках и имеет привод, от которого осуществляется вращение. Температура топочных газов на входе в сушилку 600–800 °С, на выходе из нее — 170–250 °С. Влажность поступающего в барабан осадка должна быть не более 50%, иначе он будет прилипать к внутренней поверхности барабана. Для снижения влажности поступающего в барабан осадка к нему необходимо добавлять ранее высушенный осадок.

Барабанные сушилки имеют большую единичную производительность, но малое напряжение по влаге, что обусловливает их большие габариты, массу и металлоемкость. Они имеют низкий кпд, требуют высоких капитальных затрат и относительно сложны в эксплуатации.

Сушилки со встречными струями. Основными элементами сушильной установки (рис. 15.14) являются аппарат со встречными струями, который выполнен в виде двух горизонтальных разгонных труб, врезанных в вертикальную пневмотрубу, и воздушно-проходной сепаратор.

Обезвоженный осадок подается ленточным конвейером *11* и шнековыми питателями *13* в сушильную камеру со встречными струями *14*, а затем в вертикальный стояк *16*. Сушка производится по ретурной схеме, т.е. с добавкой высушенного осадка (ретура)

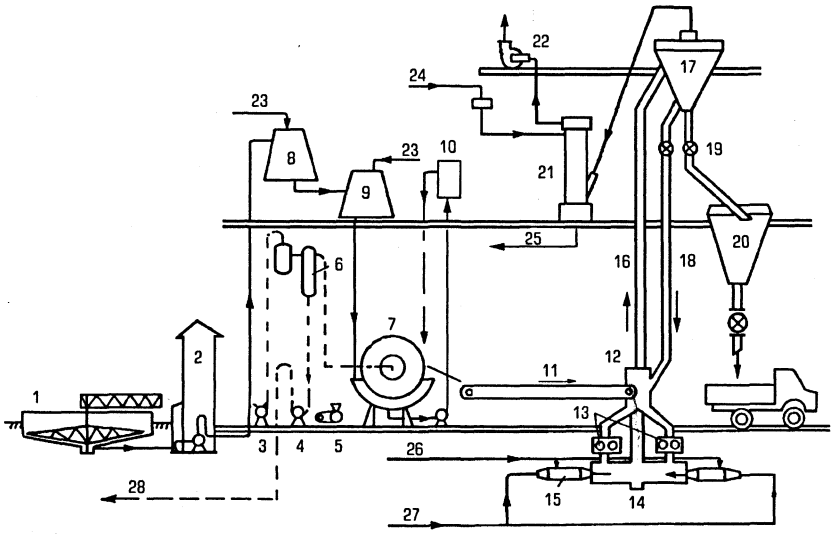


Рис. 15.14. Схема установки для термической сушки механически обезвоженных осадков в сушилке со встречными струями:
1 — осадкоуплотнитель; 2 — насосная станция; 3 — вакуум-насос; 4 — насос для откачки фильтрата; 5 — компрессор; 6 — ресивер; 7 — вакуум-фильтр; 8, 9 — смесители; 10 — емкость для ингибированной кислоты; 11 — ленточный конвейер для подачи осадка; 12 — приемная камера; 13 — двухвалковые шнековые питатели; 14 — сушильная камера с разгонными трубами; 15 — камеры сгорания; 16 — вертикальный стояк; 17 — сепаратор воздушно-проходного типа; 18 — трубопровод ретура; 19 — шлюзовые затворы; 20 — подача сухого осадка в бункер готового продукта; 21 — водяной скруббер; 22 — вентилятор; 23- подача реагентов; 24 — подача воды; 25 — отвод шлама; 26 — подача газа; 27 — подача воздуха; 28 — отвод фильтрата

к осадку, подаваемому на сушку. Выгрузка высушенного гранулированного осадка производится из сепаратора *17*. Смешивание кека с ретуром производится в шнековом питателе, обеспечивающем подачу однородной по составу и влажности смеси.

Окончательная сушка осадка проходит в сепараторе воздушно-проходного типа (аэрофонтане) *17*. В нем увеличивается время контакта сушильного агента с осадком и происходит классификация частиц. Крупные частицы осадка через шлюзовый затвор *19* поступают в бункер готового продукта, а мелкие частицы потоком сушильного агента увлекаются в водяной скруббер *21*.

Сушилки со встречными струями имеют производительность 0,7–3 т/ч по испаряемой влаге. Эти сушилки по сравнению с барабанными сушилками позволяют сократить капитальные затраты в 3–4 раза, а эксплуатационные — на 15%.

В последние годы широкое применение получили сушилки с подвижным слоем. В сушилке с *фонтанирующим слоем* (рис. 15.15) влажный осадок с помощью питателя подается в сушильную камеру.

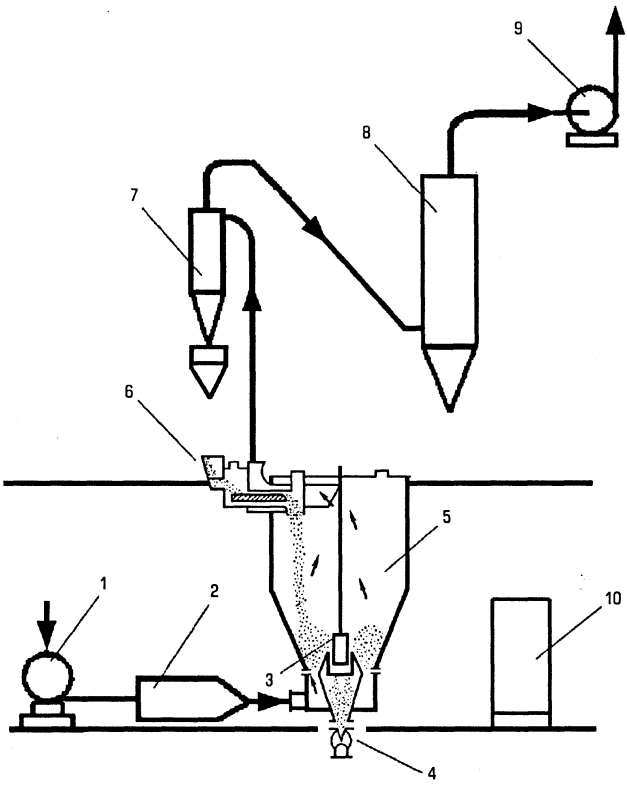


Рис. 15.15. Схема установки для сушки осадка в сушилке с фонтанирующим слоем:
1 — воздуходувка; 2 — топка; 3 — переливной порог; 4 — разгрузочное устройство сухого осадка; 5 — сушильная камера; 6 — загрузочный бункер осадка; 7 — батарейный циклон; 8 — мокрый скруббер; 9 — дымосос; 10 — пульт управления с контрольно-измерительными приборами

Теплоноситель, поступающий в ее нижнюю часть через газораспределительную решетку, подхватывает частицы влажного осадка, увлекает их за собой и фонтаном отбрасывает к стенкам камеры. Частицы осадка сползают по боковым поверхностям ко-

нуса к решетке, где вновь подхватываются потоком теплоносителя. Таким образом происходит циркуляция осадка в сушильной камере. Высушенный осадок выгружается через разгрузочное устройство.

Сушилки с кипящим слоем используют для сушки относительно небольших объемов обводненных осадков, когда это экономически целесообразно. Например, для сушки активного ила и использования его в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных. Сушка таких осадков требует большого расхода теплоты на испарение влаги. Поэтому температура теплоносителя не бывает более 250 °С. Для быстрого снижения содержания влаги осадка при относительно низкой температуре необходима большая поверхность испарения. Поэтому камера сушилки загружается инертным материалом — носителем. В качестве инертного носителя используют кварцевый песок, стеклянные шарики, фторопластовую крошку.

Инертный носитель покоится на газораспределительной опорной решетке, через которую подается газ-теплоноситель (рис. 15.16).

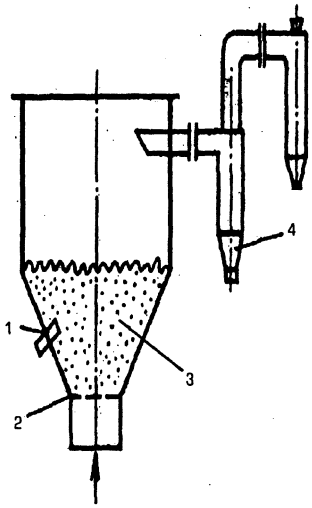


Рис. 15.16. Схема сушилки с кипящим слоем инертного носителя:
1 — форсунка; 2 — газораспределительная опорная решетка;
3 — слой инертного материала и осадка; 4 — циклон

При определенной скорости газового потока инертный носитель приходит во взвешенное состояние, создавая кипящий или псевдоожиженный слой.

Осадок через форсунку впрыскивается в этот слой, сорбируется на частицах инертного носителя и высушивается. Вместе с газовым потоком частицы высушенного осадка выносятся из сушилки в циклон, где происходит их разделение.

15.6. СЖИГАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Сжигание осадков осуществляют, если их утилизация в исходном виде невозможна или экономически нецелесообразна.

Сжигание — это процесс окисления органической части осадков до нетоксичных газов (диоксид углерода, водяные пары и азот) и золы. Перед сжиганием осадки должны быть или механически обезвожены, или подвергнуты термической сушке, или пройти оба этих процесса.

Возможное присутствие в газах при сжигании осадков токсичных компонентов может вызвать серьезные трудности при очистке этих газов перед выбросом их в атмосферу.

Процесс сжигания осадков состоит из следующих стадий: нагревание, сушка, отгонка летучих веществ, сжигание органической части и прокаливание для выгорания остатков углерода.

Возгорание осадка происходит при температуре 200–500 °С. Прокаливание зольной части осадка завершается его охлаждением. Температура в топке печи должна быть в пределах 700–900 °С.

Установки для сжигания осадков должны обеспечивать полноту сгорания органической части осадка и утилизацию теплоты отходящих газов.

Для сжигания осадков наибольшее распространение получили многоподовые печи и печи кипящего слоя.

Многоподовая печь. Корпус многоподовой печи (рис. 15.17) представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Топочное пространство печи разделено по высоте на семь — девять горизонтальных подов. В центре печи имеется вертикальный вал, на котором укреплены горизонтальные фермы гребковых устройств. Каждый под имеет отверстия, расположенные у одного пода на периферии, а у другого — в центральной части.

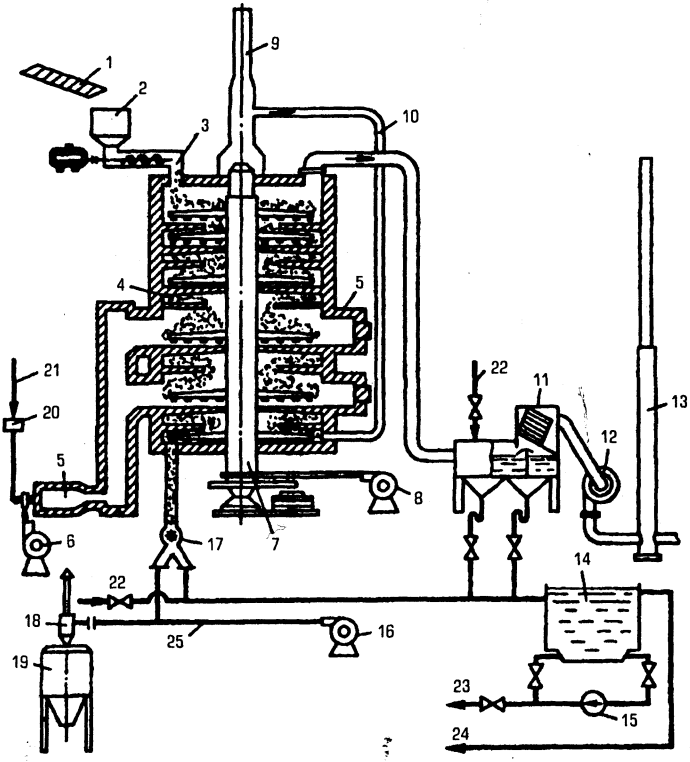


Рис. 15.17. Схема сжигания осадков в многоподовой печи:
1 — конвейер ленточный; 2 — бункер загрузки осадка; 3 — шнековый питатель; 4 — многоподовая печь; 5 — наружная топка; 6 — дутьевой вентилятор; 7 — вал; 8 — вентилятор охлаждения; 9 — атмосферная труба; 10 — рециркуляционный трубопровод; 11 — мокрый пылеуловитель; 12 — дымосос; 13 — дымовая труба; 14 — сборник золы; 15 — насос перекачки золовой воды; 16 — вентилятор пневмотранспорта; 17 — шлюзовой питатель; 18 — циклонный разгрузитель; 19 — бункер выгрузки золы; 20 — газорегуляторная установка; 21 — трубопровод топливного газа; 22 — водопровод; 23 — золопровод; 24 — трубопровод водоотведения; 25 — воздуховод

Осадок подается конвейером через загрузочный люк в верхнюю камеру печи, перемещается гребками к пересыпному отверстию, сбрасывается на лежащий ниже под и т.д. Вертикальный вал и фермы гребковых механизмов выполняются полыми и охлаждаются воздухом, подаваемым вентилятором.

На верхних подах осадок сушится, на средних органическая часть осадка сгорает при температуре 600–950 °С, а на нижних охлаждается зола перед сбросом в бункер. Из печи газы отводятся

в мокрый пылеуловитель и дымососом выбрасываются в атмосферу.

Многоподовые печи просты и надежны в эксплуатации. К их недостаткам относятся высокая строительная стоимость, большие габариты, частый выход из строя гребковых устройств.

Печь кипящего слоя представляет собой вертикальный стальной цилиндр, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Внутри печи имеются топочная камера, конусная часть с воздухораспределительной беспровальной решеткой и куполообразным сводом (рис. 15.18).

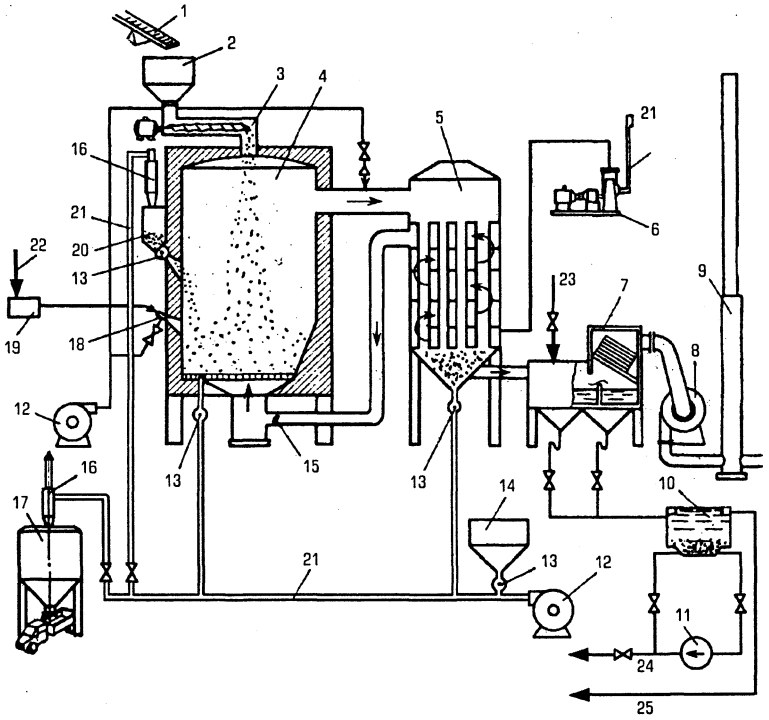


Рис. 15.18. Схема сжигания осадков в печи кипящего слоя:
1 — ленточный транспортер; 2 — бункер загрузки осадка; 3 — шнековый питатель; 4 — печь; 5 — рекуператор; 6 — воздуходувка; 7— мокрый пылеуловитель; 8 — дымосос; 9 — дымовая труба; 10 — золовая емкость; 11 — насос перекачки золовой воды; 12 — вентилятор; 13 — шлюзовый питатель; 14 — бункер для песка; 15 — заслонка; 16 — циклонный разгружатель; 17 — бункер выгрузки золы; 18 — газовая горелка; 19 — газорегуляторная установка; 20 — бункер-дозатор; 21 — воздуховод; 22 — трубопровод топливного газа; 23 — водопровод; 24— золопровод; 25 —трубопровод водоотведения

Обезвоженный осадок подается транспортером через загрузочный бункер в печь. Попадая в кипящий слой песка, температура которого 750–800 °С, осадок интенсивно отдает влагу и измельчается. В кипящем слое происходят доиспарение влаги и горение осадка. Продолжительность процесса составляет 1–2 мин. Образовавшаяся зола выносится из печи с потоком отходящих газов, которые по газопроводу поступают в рекуператор, затем в мокрый золоуловитель и далее дымососом выбрасываются в атмосферу. Основная масса воздуха на создание кипящего слоя и обеспечение горения подается воздуходувкой через рекуператор под колосниковую решетку печи. Если теплотворной способности осадка недостаточно для поддержания процесса горения, в печь через горелку вводится дополнительное топливо. Воздух на горение, вторичное дутье, а также на охлаждение газов в газопроводе подается вентилятором. Восполнение потерь песка в кипящем слое осуществляется из пескового бункера.

15.7. УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Осадки, выделяемые при очистке сточных вод городов и населенных мест с малой долей неочищенных производственных стоков, по химическому составу относятся к ценным органоминеральным смесям.

Осадки городских сточных вод целесообразно использовать главным образом в сельском хозяйстве в качестве азотно-фосфорных удобрений, содержащих необходимые для развития растений микроэлементы и органические соединения. Попадая в почву, осадок минерализуется, при этом биогенные и другие элементы переходят в доступные для растений соединения.

Активный ил представляет наибольшую ценность как органическое удобрение, особенно богатое азотом и усваиваемыми фосфатами. Содержание этих веществ в осадках определяется составом сточных вод и технологией их очистки. Отношение общего органического углерода к азоту в среднем составляет 15 : 1. Накопления калия в почве не происходит, так как в осадках недостаточно этого элемента.

Минеральная часть осадков представлена в основном соединениями кальция, кремния, алюминия и железа. Поступление на очистные станции городов производственных стоков обусловли-

вает присутствие в осадках ряда микроэлементов, таких, как бор, кобальт, марганец, медь, молибден, цинк.

Внесение осадков значительно уменьшает кислотность почв и увеличивает содержание азота, гумуса и фосфора. Особенно благоприятно действует на кислые почвы осадок, обработанный известью.

Содержание большого количества органических веществ (40–70% массы сухого вещества) позволяет использовать осадки в качестве рекультиванта почв, у которых потерян верхний плодородный слой, что особенно важно для сохранения плодородия в условиях широкого применения минеральных удобрений, ухудшающих структуру почв, и возвращения сельскому хозяйству земель после использования их промышленностью.

Во многих городах и населенных пунктах, обслуживаемых централизованными системами водоотведения, сточные воды содержат значительную долю разнообразных производственных стоков. Осадки, выделяемые в процессах очистки таких городских сточных вод, могут содержать вредные для растений и животных вещества (яды, химические соединения, радиоактивные вещества, сорняки). Микроэлементы (бор, марганец, медь, молибден, кобальт, цинк) при повышенных концентрациях также могут оказывать неблагоприятное воздействие на рост растений и качество сельскохозяйственной продукции. Поэтому возможность использования осадков в сельском хозяйстве должна быть оценена с учетом присутствия в них этих соединений.

Перспективным направлением утилизации осадков сточных вод является их переработка с целью получения продуктов, используемых в промышленном производстве и теплоэнергетике. Важно отметить, что для этого направления переработки осадков нет жестких ограничений по санитарным показателям и присутствию токсичных соединений. Благодаря этому возможно использование процессов утилизации осадков бытовых сточных вод в комплексе с переработкой других отходов населенных мест и промышленных предприятий.

Глава 16
ВОДООТВЕДЕНИЕ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

16.1. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Сущность процесса биологической очистки на полях орошения и полях фильтрации заключается в контакте загрязнителей сточных вод, которые находятся во взвешенном, коллоидном, или растворенном состоянии, с микроорганизмами почвенного слоя.

Перед подачей сточных вод на *поля орошения и поля фильтрации* они проходят предварительную механическую очистку, что позволяет выделить из них 50–60% общего числа бактерий и 50–60% загрязнений. Концентрация питательных элементов (азота, фосфора и калия) в сточной воде малых населенных пунктов зависит от нормы водоотведения и в среднем составляет: азота 15–60 мг/л, фосфора 3–12 мг/л и калия 6–25 мг/л.

Поля орошения отличаются от полей фильтрации тем, что на полях орошения выращиваются овощи, злаки, плодовые и декоративные деревья и кустарники, технические культуры, а поля фильтрации служат только для очистки сточных вод.

Коммунальные поля орошения используются в основном для очистки сточных вод, а выращивание сельскохозяйственной продукции играет вспомогательную роль; *земледельческие поля орошения* служат для полной биологической очистки сточных вод и планового выращивания сельхозпродукции.

Поля орошения могут устраиваться во всех климатических зонах, за исключением районов Крайнего Севера и районов вечной мерзлоты, и их применение ограничивается глубиной залегания грунтовых вод (должна быть не менее 1,5 м) и характером грунтов (на тяжелых суглинках и глинах устройство полей орошения невозможно). Межполивной период для полей фильтрации устанавливается по графику полива сельскохозяйственных культур.

При проектировании полей фильтрации учитывается количество воды, отводимой с полей, и количество дренажных устройств для отвода этой воды. Нормы нагрузки осветленных бытовых сточ-

ных вод на поля орошения принимаются в соответствии с положениями указанного выше СНиП.

Биологические пруды применяются как самостоятельные сооружения биологической очистки или для глубокой очистки сточных вод после сооружений искусственной биологической очистки. Биологические пруды бывают с естественной и искусственной аэрацией, контактные, проточные, серийные (состоящие из каскада прудов). Биологические пруды представляют собой мелкие котлованы глубиной от 0,5–1 м при естественной аэрации и до 3–4,5 м (в зависимости от характеристики аэрирующего устройства) при искусственной аэрации, которые располагаются на слабофильтрующих грунтах. Как правило, биологические пруды имеют прямоугольную форму и вытянуты по ходу движения воды.

По характеру протекающих процессов биологические пруды подразделяются на три основных вида: *аэробные*, *факультативные* и *анаэробные*.

Аэробные биологические пруды содержат кислород по всей глубине воды, которая составляет обычно 0,3–0,45 м; за счет этого достигаются деаэрация и интенсификация процессов фотосинтеза.

Факультативные биологические пруды имеют глубину от 1,2 до 2,5 м. Эти пруды называются аэробно-анаэробными, верхний слой таких прудов насыщается кислородом, а в нижнем происходит анаэробное разложение донных осадков.

Анаэробные биологические пруды работают с очень высокими нагрузками по органическим загрязнениям. Основные биохимические процессы, протекающие в них, — образование кислот и метановое брожение.

Искусственная аэрация биологических прудов механическим или пневматическим путем позволяет значительно интенсифицировать процессы биохимической очистки сточных вод, увеличить глубину пруда до 3–4 м, что стабилизирует процесс и позволяет сделать биопруды значительно компактнее.

Широкое распространение получили *биологические пруды с высшей водной растительностью (ВВР)*. В таких прудах по определенной схеме высаживают такие водные культуры, как камыш, тростник, ртуть, рдест, водный гиацинт, телорез и др. Растения интенсифицируют процесс очистки, удаляют биогенные элементы, активно используя их в своем питании, изымают из воды и аккумулируют тяжелые металлы, радиоактивные изотопы и другие специфические загрязнения. Выделяемые ВВР фитонциды способствуют обеззараживанию воды. Общее снижение концентрации

загрязнений в биологических прудах по $БПК_{полн}$ может достигать 60–98%, а по взвешенным веществам — 90–98%.

16.2. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

При расходах сточных вод свыше 25 $м^3$/сут технологическая схема их очистки включает узел механической очистки — решетки, песколовки, первичные отстойники и сооружения биологической очистки. В случае выпуска очищенных сточных вод в водоем необходима их дезинфекция.

Решетки. Как правило, на очистных сооружениях небольших населенных пунктов устанавливается одна решетка с ручным или (в редких случаях) механизированным удалением отбросов. На решетках с шириной прозоров 4–16 мм задерживается при ручной очистке 4–8 л отбросов на 1 человека в год влажностью 80% и плотностью 0,75 $т/м^3$.

Песколовки предназначены для удаления минеральных примесей крупностью 0,25 мм и более и применяются на очистных сооружениях производительностью более 100 $м^3$/сут. На малых очистных сооружениях применяют песколовки с круговым движением воды или тангенциальные песколовки (см. главу 11).

Двухъярусные отстойники являются сооружениями цилиндрической или прямоугольной формы с коническим или пирамидальным днищем (рис. 16.1). Двухъярусные отстойники устанавлива-

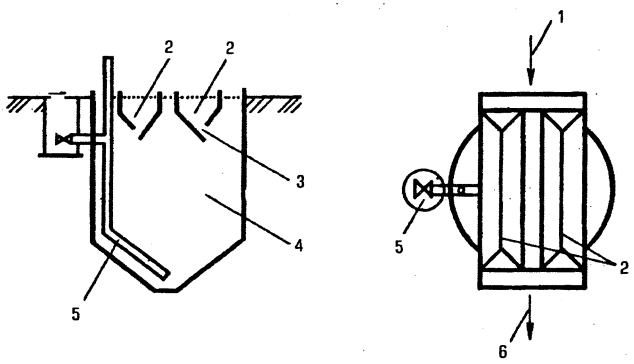


Рис. 16.1. Двухъярусный отстойник:
1 — подача сточных вод; 2 — осадочные желоба; 3 — продольные щели; 4 — септическая часть; 5 — иловая труба; 6 — выпуск осветленной воды

ются после решетки и песколовки. Зона осветления в двухъярусных отстойниках расположена в желобах, находящихся в верхней части сооружения, и представляет собой горизонтальные отстойники. Выпавшие в осадочном желобе взвешенные вещества через щель в нижней части лотка попадают в септическую часть отстойника, где происходит уплотнение и сбраживание осадка. Нижние грани отстойного желоба перекрывают друг друга на 0,15 м, что предотвращает загрязнение осветленной воды продуктами гниения, выделяющимися при брожении осадка. Расчет двухъярусного отстойника заключается в определении размеров осадочного желоба и иловой камеры.

При подаче в септическую камеру активного ила аэротенков, биопленки объем ее должен увеличиваться. При выпуске осветленных в двухъярусном отстойнике сточных вод на поля фильтрации объем септических камер уменьшается. Осадок из двухъярусных отстойников удаляется под гидростатическим напором. Эффект очистки по $БПК_{полн}$ на двухъярусных отстойниках достигает 25–60%, по взвешенным веществам — 45–70%.

Биофильтры. Подробно о загрузочных материалах, конструкциях биофильтров с плоскостным загрузочным материалом и методах их расчета см. в главе 12. На малых очистных сооружениях биофильтры с плоскостным загрузочным материалом желательно располагать в отапливаемом помещении. За рубежом серийно выпускаются погружные биофильтры, рассчитанные для очистки сточной воды от небольших населенных пунктов.

Аэротенки, применяемые для очистки сточных вод малых населенных пунктов, как правило, работают в режиме продленной аэрации. В зависимости от начальной концентрации загрязнений сточных вод продолжительность аэрации сточных вод в продленном режиме может составлять от 16 ч до 3 сут.

Эффект очистки сточных вод в аэротенках составляет 85–98% по $БПК_{полн}$ и 90–98% по взвешенным веществам.

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) имеют замкнутую форму в плане и оснащены механическими аэраторами, насыщающими сточную жидкость кислородом, перемешивающими ее и поддерживающими активный ил во взвешенном состоянии. Циркуляционные окислительные каналы применяют в районах с расчетной зимней температурой наиболее холодного периода не ниже –25 °С. Примерный план очистной станции с циркуляционным окислительным каналом представлен на рис. 16.2.

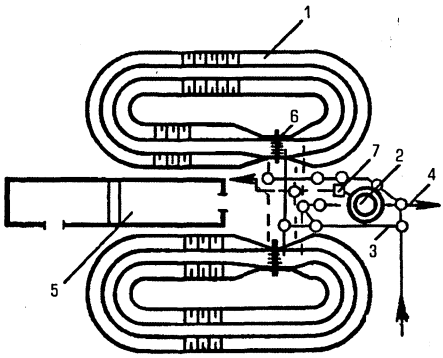


Рис. 16.2. Циркуляционные окислительные каналы:
1 — ЦОК; 2 — вторичный отстойник; 3 — подача неочищенных сточных вод;
4 — выпуск очищенных сточных вод; 5 — иловые площадки;
6 — роторные аэраторы; 7 — иловая насосная станция

Многие конструкции ***аэротенков-отстойников*** разработаны специально для очистки небольших расходов сточных вод. В аэротенках-отстойниках протекает одновременно несколько процессов — аэрация, отстаивание и циркуляция активного ила. Очистка сточных вод в аэротенках-отстойниках производится в режиме продленной аэрации. Аэрация в этих сооружениях может быть пневматической, механической и пневмомеханической. Большим достоинством аэротенков-отстойников является их компактность и возможность заводского изготовления. Благодаря плоскому днищу аэротенки-отстойники можно компоновать в блоки с другими очистными сооружениями.

В настоящее время разработаны типовые проекты очистных сооружений, оборудованные аэротенками-отстойниками пропускной способностью от 12 до 700 м^3/сут. НИИ КВОВ разработаны компактные аэротенки-отстойники типа КУ пропускной способностью 12–700 м^3/сут (рис. 16.3). Фирмой «Биокомпакт» разработаны аэротенки-отстойники типа БИО-25, БИО-50 и БИО-100 пропускной способностью соответственно 25, 50 и 100 м^3/сут. В дальнейшем были разработаны их модификации, состоящие из одной типовой секции, которую можно доставлять к месту использования вагоном железной дороги.

На рис. 16.4 приведены план и разрез аэротенка-отстойника производительностью 500, 1000, 1500 и 2500 м^3/сут, разработанного фирмой «Кубост».

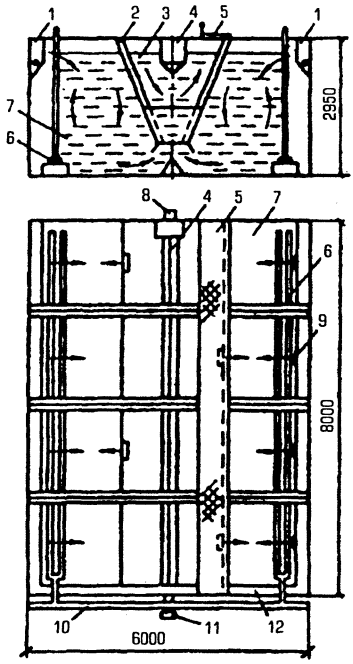


Рис. 16.3. Аэротенк-отстойник типа КУ:
1 — распределительный лоток; 2 — эрлифт; 3 — отстойная зона; 4 — сборный лоток; 5 — мостик для обслуживания; 6 — дырчатые трубы; 7 — зона аэрации; 8 — отводящий лоток; 9 — отверстие с регулируемым водосливом; 10 — воздуховод; 11 — подающий патрубок; 12 — подающий лоток

Сооружение строится на поверхности земли и утепляется эффективным теплозащитным материалом. При очистке бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод на первой ступени достигается показатель по взвешенным веществам и по $БПК_{полн}$ до 15 мг/л, а в случае двухступенчатой очистки — соответственно до 5 и 6 мг/л.

В МосводоканалНИИпроекте разработан блок-модуль глубокой биологической очистки сточных вод производительностью 200 $м^3$/сут (рис. 16.5). Перед подачей на установку сточная жидкость предварительно очищается от грубодисперсных примесей на решетках с прозорами 4–6 мм.

Установки состоит из первичного отстойника со встроенной камерой биокоагуляции (сорбер), в которую подается некоторое количество рециркулирующего активного ила для интенсификации процессов осаждения взвешенных веществ и снижения кон-

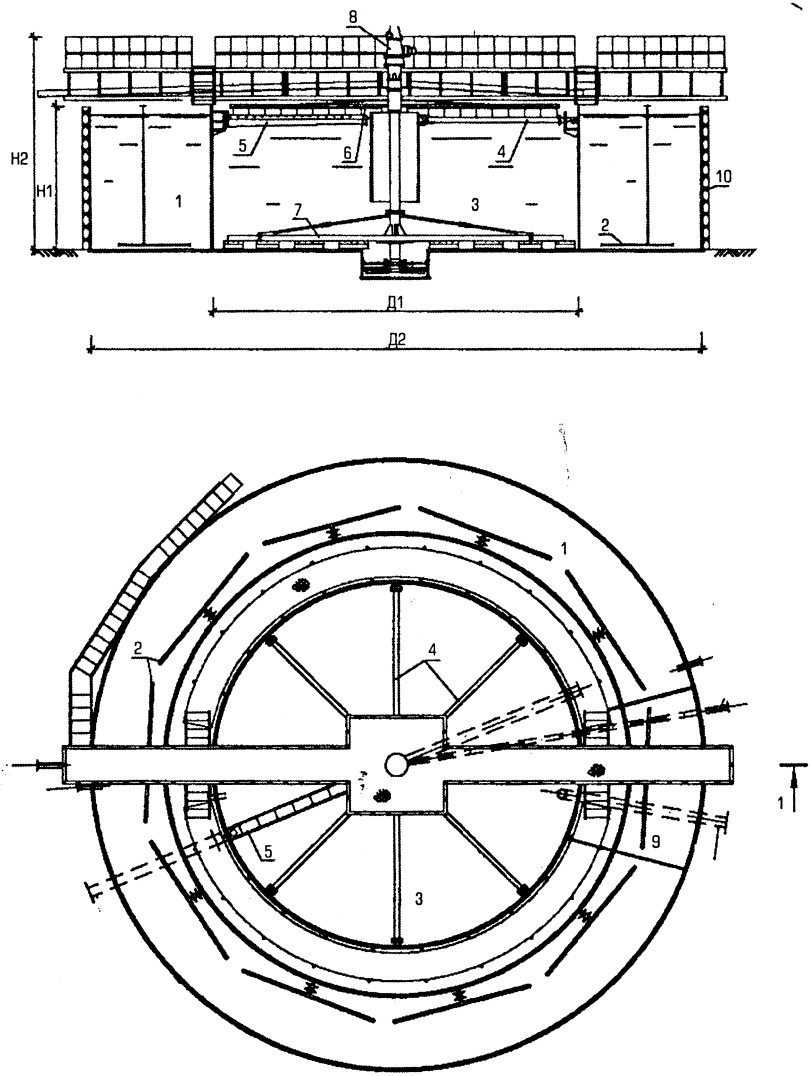


Рис. 16.4. Аэротенк-отстойник фирмы «Кубост»:
1 — зона аэрации; 2 — аэраторы; 3 — отстойник; 4 — сборные радиальные лотки; 5 — лотки для сбора плавающих веществ; 6 — механизм сбора плавающих веществ; 7 — скребковый механизм; 8 — мотор с редуктором; 9 — зона контактной дезинфекции хлором; 10 — теплоизоляционный материал

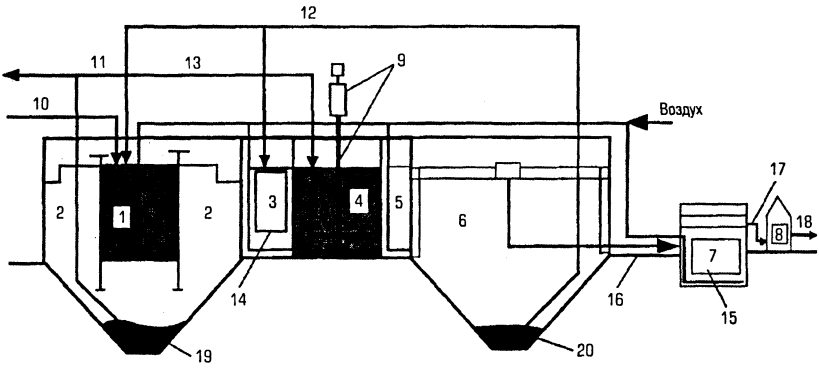


Рис. 16.5. Компактная установка глубокой биологической очистки (МосводоканалНИИпроект):
1 — сорбер; 2 — отстойник; 3 — нитрификатор; 4 — денитрификатор; 5 — постаэратор; 6 — вторичный отстойник; 7 — биореактор; 8 — УФ-обеззараживатель; 9 — механический перемешиватель; 10 — поступающая сточная жидкость; 11 и 19 — избыточный активный ил и осадок; 12 — рецикл активного ила; 13 — рецикл осадка; 14 — плоскостная загрузка; 15 — объемная загрузка; 16 — очищенная вода; 17 — доочищенная вода; 18 — обеззараженная вода; 20 — активный ил

центрации органических загрязнений; биологического реактора с отделением денитрификации с механической мешалкой; нитрификатора и постаэратора для отдувки молекулярного азота и вторичного отстойника вертикального типа. Доочистка воды происходит в биореакторе с прикрепленной микрофлорой, а дезинфекция осуществляется погружными ультрафиолетовыми излучателями фирмы «ЛИТ».

Индивидуальные очистные сооружения. К классу индивидуальных очистных сооружений относят сооружения, пропускная способность которых не превышает 25 $м^3$/сут. Индивидуальные очистные сооружения предназначены для очистки бытовых сточных вод от отдельно стоящих домов или от группы зданий. Бытовые сточные воды формируются из двух основных потоков. Первый — хозяйственный (или, как его еще называют, «серый»), который включает сточную воду от умывальников, кухонных раковин, ванн, душа, стирки и т.п. Второй — фекальный (или «черный») — от унитазов и писсуаров. Хозяйственные и фекальные сточные воды очень сильно различаются по своему физико-химическому составу, и иногда их целесообразно не объединять в единый поток, а обезвреживать раздельно.

Септики применяются для механической очистки сточных вод перед сооружениями естественной биологической очистки (рис. 16.6, *а*). Изготавливают септики из сборного или монолитного железобетона, кирпича с соответствующей гидроизоляцией. Септики заводского изготовления могут быть из металла или пластмасс. Производительность септика принимается 0,4–12 м^3/сут, а при соответствующем обосновании — до 25 м^3/сут. Время пребывания сточной жидкости в септике от 1 до 3 сут, а выпавшего осадка — от 6 до 12 мес. За время пребывания в септике осадок уплотняется и частично подвергается анаэробному разложению, влажность его к моменту выгрузки составляет около 90%.

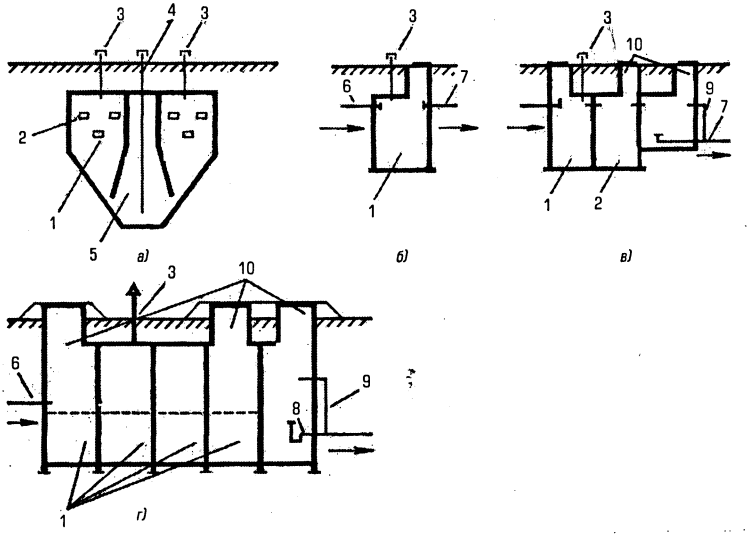


Рис. 16.6. Септики:
а — двухъярусный; *б* — круглый односекционный; *в* — круглый двухъярусный; *г* — прямоугольный четырехсекционный;
1 — зона отстаивания; 2 — перепускные отверстия; 3 — вентиляционные трубы; 4 — удаление продуктов распада; 5 — септическая часть; 6 — подача сточных вод; 7 — отвод осветленных сточных вод; 8 — сифон; 9 — переливная труба; 10 — люк колодца

При расходе до 1 м^3/сут применяют однокамерные септики, до 10 м^3/сут — двухкамерные и при больших расходах — трехкамерные. В двухкамерных септиках объем первой камеры составляет 0,75 расчетного объема, в трехкамерных септиках — 0,5; вторая и третья камеры — соответственно по 0,25 расчетного объема.

Осадок из септика периодически удаляется, около 20% осадка необходимо оставлять в иловой камере для затравки вновь поступающего осадка анаэробными микроорганизмами, что ускоряет процесс его разложения. Эффект очистки сточных вод в септике по $БПК_{полн}$ достигает 35%, а по взвешенным веществам — 70–95%.

Фильтрующие колодцы, как правило, применяют для почвенной очистки сточных вод после септиков при расходах до 1 $м^3$/сут. Пропускная способность фильтрующего колодца зависит от вида грунта: в песчаных грунтах — из расчета 80 л/сут на 1 $м^2$ фильтрующей поверхности, в супесчаных — 40 л/сут. Общий вид фильтрующего колодца представлен на рис. 16.7.

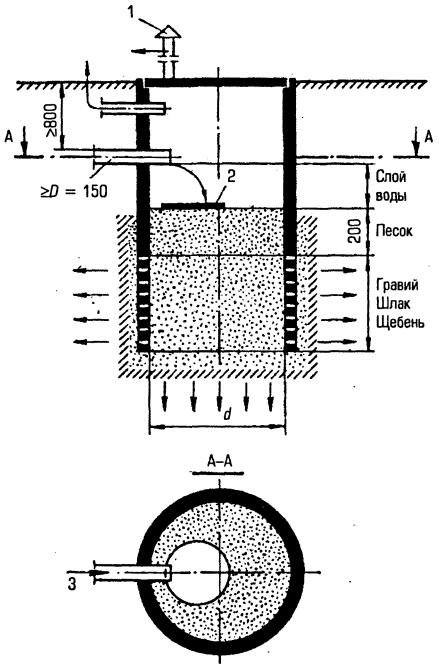


Рис. 16.7. Фильтрующий колодец:
1 — вентиляционная труба; 2 — отражающая плита;
3 — подача осветленной сточной жидкости

Поля подземной фильтрации применяются на песчаных и супесчаных грунтах и представляют собой систему оросительных труб, уложенных на глубину 0,6–0,9 м, но не менее 1 м выше уровня грунтовых вод. В состав системы водоотведения с полями подзем-

ной фильтрации входят: септик, дозирующие и распределительные устройства, сеть оросительных труб.

Гидравлическая нагрузка на оросительную сеть полей фильтрации принимается по данным СНиП 2.03.04-85. Общий вид полей подземной фильтрации представлен на рис. 16.8.

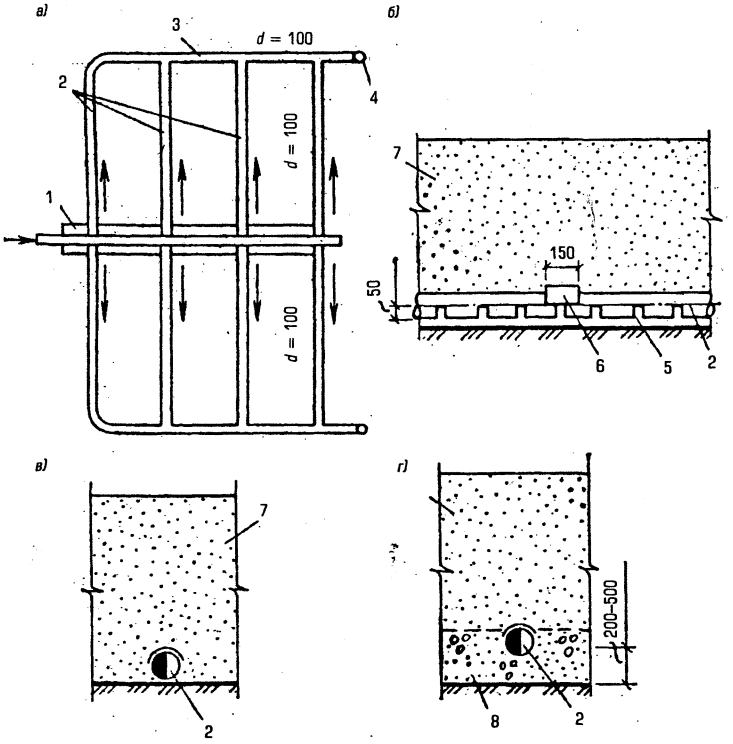


Рис. 16.8. Поля подземной фильтрации:
а — план; *б* — продольный разрез; *в* — поперечный разрез; *г* — то же при укладке на слой щебня шлака или крупного песка; 1 — распределительный лоток оросительной трубы; 2 — оросительные трубы; 3 — вентиляционный коллектор; 4 — вентиляционный стояк; 5 — пропилы; 6 — рубероид, толь, промасленная бумага и т.п.; 7 — засыпка из местного грунта; 8 — засыпка щебнем, шлаком или крупным песком

Фильтрующие траншеи устраиваются на слабофильтрующих грунтах (суглинки, глины) и представляют собой искусственные углубления, в которые уложены оросительные и дренажные сети (рис. 16.9).

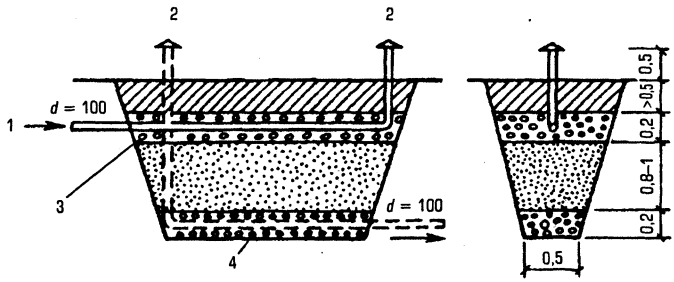


Рис. 16.9. Фильтрующая траншея:
1 — подача осветленной сточной жидкости; 2 — вентиляционная труба; 3 — оросительная сеть; 4 — дренажная сеть

Траншеи размещают обычно вблизи оврагов, траншей, болот или водоемов, в которые самотеком поступают очищенные сточные воды. Длина фильтрующей траншеи определяется расчетом, но не должна превышать 30 м.

Пространство между оросительной и дренажной сетью заполняется крупным песком. Расстояние между осями отдельно расположенных фильтрующих траншей принимается около 3 м. Нагрузка на 1 м протяженности фильтрующей траншеи 50–70 л/сут.

Песчано-гравийные фильтры конструктивно похожи на фильтрующие траншеи (рис. 16.10).

Расстояние между оросительными и дренажными трубами составляет 1–1,5 м по высоте, и они размещаются в котловане параллельными линиями также на расстоянии 1–1,5 м. Оросительные и дренажные трубы обсыпаются крупнозернистым фильтрующим материалом — гравием, щебнем или котельным шлаком (толщина обсыпки 15–20 см), а остальное пространство между ними заполнено также крупным песком. Нагрузка на 1 м длины примерно такая же, как и у фильтрующей траншеи.

Компактные блоки очистных сооружений (КБС), предназначенные для очистки бытовых и близких к ним по составу сточных вод от отдельно стоящих объектов (коттеджи, пункты питания, блок-посты и т.п.) производительностью 1–6 $БПК_{полн}$; 10–25 и 50 $м^3$/сут, разработаны МГСУ и ОАО ЦНИИЭП инженерного оборудования (рис. 16.11).

Технологический процесс включает в себя нитрификацию и денитрификацию сточных вод в аэротенках с инертным плоскостным носителем микрофлоры. В состав сооружений входят двухъ-

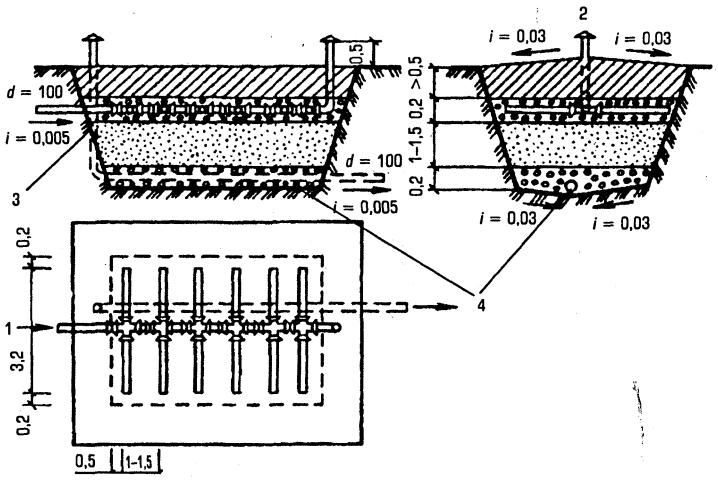


Рис. 16.10. Песчано-гравийный фильтр:
1 — подача осветленной сточной жидкости; 2 — вентиляционная труба;
3 — оросительная сеть; 4 — дренажная сеть

ярусный отстойник, выполненный в виде отстойного желоба, аэротенки с инертным носителем микрофлоры, осветлитель очищенных сточных вод со встроенным высокопористым фильтром доочистки, установка обеззараживания сточных вод. В ходе очистки происходит снижение: $БПК_{полн}$ с 300 до 3 мг/л; взвешенных веществ с 260 до 3 мг/л; азота аммонийного с 15 до 0,4–0,5 мг/л; фосфатов с 11 до 0,25 мг/л и СПАВ с 8–10 до 0,05 мг/л. Насыщение сточной жидкости кислородом осуществляется аэраторами с помощью компрессоров или эжекторов.

Фирмой **«Вавин»** (Дания) производится комплект оборудования, включающий: трехкамерный бак-отстойник объемом 2 $м^3$, изготовленный в виде целиком отлитой из полиэтилена емкости; полимерный распределительный колодец, к которому можно присоединить от 2 до 5 фильтрационных пакетов (дрен) и два 15-метровых пакета фильтрационных (перфорированных дренажных) труб диаметром 110 мм, изготовленных из полиэтилена. Вместо трехкамерного бака-отстойника может быть применен вертикальный колодец «Вавин» диаметром 1250 мм с песколовкой и внутренним колодцем диаметром 315 мм (рис. 16.12).

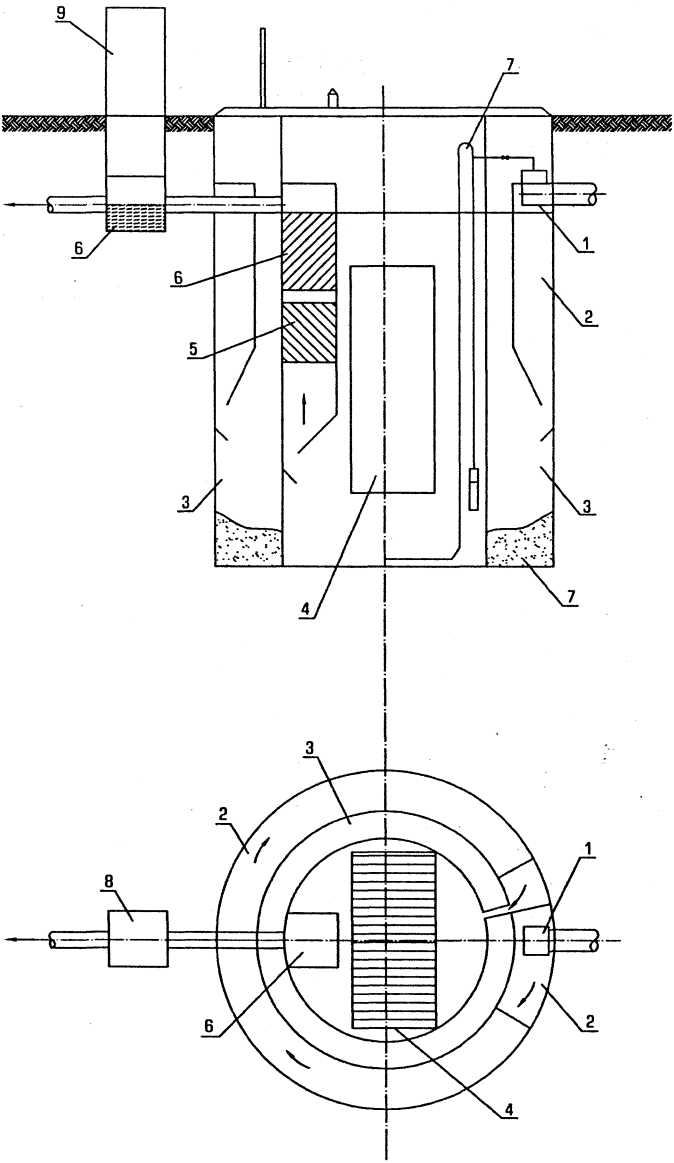


Рис. 16.11. Компактный блок очистных сооружений (КБС):
1 — решетка; 2 — отстойный желоб; 3 — сбраживатель; 4 — аэротенк с плоскостным инертным наполнителем; 5 — осветлитель с тонкослойным отстаиванием; 6 — высокопористый фильтр; 7 — погружной насос с эжектором; 8 — контактный резервуар; 9 — шкаф КИП и А и обеззараживания

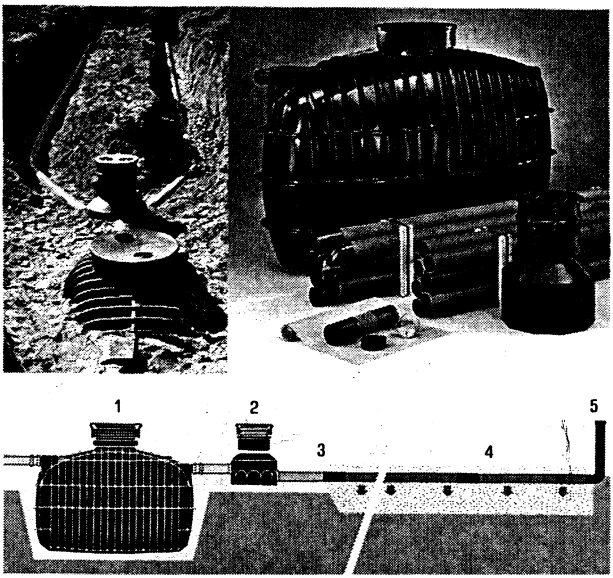


Рис. 16.12. Смонтированная установка Вавин (на фото слева); комплект поставки (справа), схема работы установки Вавин (внизу): 1 — трехкамерный бак; 2 — распределительный колодец; 3 — гибкий ПВХ-трубопровод; 4 — гибкий дренажный ПВХ-трубопровод; 5 — вентиляционный стояк

Глава 17
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

17.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ

Проектно-изыскательские работы являются одним из важных звеньев капитального строительства. Проектные организации выполняют многоплановую работу в области проектирования: разрабатывают планы развития хозяйственной деятельности; составляют нормативные и вспомогательные материалы по проектированию и строительству; разрабатывают сметные нормативы; составляют программы для расчетов систем и сооружений на персональных ЭВМ; ведут проектирование для объектов, расположенных в России и за рубежом; разрабатывают экспериментальные и типовые проекты; обобщают опыт проектирования и строительства; осуществляют авторский надзор за строительством.

Проектные организации в зависимости от характера выполняемых ими работ можно подразделить на три основных вида: отраслевые проектные; проектные строительного профиля; специализированные. Отраслевые проектные организации занимаются разработкой проектной документации соответствующей отрасли народного хозяйства. Проектные организации строительного профиля выполняют работы, связанные с разработкой документации только архитектурно-строительной части проекта на уникальные сооружения. Специализированные проектные организации разрабатывают следующие разделы комплексных проектов: электроснабжение, электрическую часть, автоматику; связь; подъездные дороги; отопление и вентиляцию; внутреннее водоснабжение и водоотведение; защиту строительных конструкций от коррозии и др.

Основной объем проектных и изыскательских работ проектные организации выполняют по хозяйственным договорам с заказчиками. По заказам государственных и региональных администраций разрабатываются: нормативные материалы; экспериментальные и

типовые проекты; схемы районной планировки; схемы комплексного использования и охраны вод и др.

Для унификации оформления проектов введены государственные стандарты Российской Федерации «Системы проектной документации для строительства». Разработана система нормативных документов и стандартов, которая регламентирует деятельность проектных организаций.

Система нормативных документов охватывает: нормы проектирования (в основном СНиП); организацию, управление, методологию и экономику проектирования и инженерных изысканий; организацию, производство и приемку работ; сметные нормы и коэффициенты пересчета; нормы затрат материальных и трудовых ресурсов. Нормативные документы в строительстве устанавливают комплекс норм, правил, положений, требований, обязательных при проектировании, инженерных изысканиях и строительстве, реконструкции зданий и сооружений, расширении и техническом перевооружении предприятий, а также при производстве строительных конструкций, изделий и материалов.

Основными задачами нормирования в строительстве являются: проведение единой технической политики в капитальном строительстве; ускорение научно-технического прогресса в строительстве; внедрение современных достижений науки и техники; обеспечение надежности и долговечности объектов; обеспечение качества строительства, снижение его стоимости; установление требований, обеспечивающих здоровье и безопасные условия труда; рациональное использование земель и охрана окружающей среды.

Нормативные документы подразделяются на строительные нормы и правила (СНиП), нормы технологического проектирования, нормативные документы органов государственного надзора. СНиП устанавливают: требования к организации, управлению и экономике в области проектирования, инженерных изысканий и строительства; нормы проектирования; правила организации производства и приемки работ; методы определения стоимости строительства и сметные нормы; нормы затрат материальных и трудовых ресурсов. В дополнение к СНиП разрабатываются пособия, в которых детализируются отдельные положения нормативных документов, приводятся примеры и алгоритмы расчетов, текстовые, табличные и графические данные, вспомогательные и справочные материалы, необходимые для проектирования и строительства.

Для планирования и решения вопросов размещения очистных сооружений с учетом перспективы их развития в соответствии с СП II-101-99 «Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснования инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений» выполняются предпроектные разработки.

В соответствии с «Основами водного законодательства» разрабатываются схемы комплексного использования и охраны вод по бассейнам рек, экономическим районам, которые рассчитываются на перспективу 15–20 лет.

Основным документом, регламентирующим выполнение проектных работ, является «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» (СНиП II-01-95. Госстрой России, 1995 г.).

СНиП определяет состав, порядок разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на новое строительство, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий, зданий и сооружений различных отраслей промышленности и видов строительства. При разработке проектов руководствуются законами РФ, решениями правительства, нормативными актами и документами по проектированию и строительству, в число которых входят: государственные стандарты по проектированию и строительству; нормы технологического и строительного проектирования; каталоги оборудования и приборов; строительные каталоги изделий для всех видов строительства.

Проектные организации в соответствии со СНиП должны при проектировании предприятий, зданий и сооружений обеспечивать:

1) реализацию достижений науки, техники и передового отечественного и зарубежного опыта;

2) высокий технико-экономический уровень проектируемых объектов;

3) высокую эффективность капитальных вложений;

4) снижение материалоемкости, трудоемкости и стоимости строительства;

5) рациональное использование земель, охрану окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов;

6) соответствующий уровень автоматизации и диспетчеризации систем управления предприятиями и технологическими процессами.

17.2. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Для обоснования проектных решений систем водоотведения и связанных с ними гидротехнических сооружений необходимы данные инженерных изысканий. Эти данные оказывают прямое влияние на выбор схемы и типа сооружений, их строительную стоимость, работу выстроенных сооружений, их долговечность и условия эксплуатации. Изыскания подразделяются на топографические, гидрологические, геологические и гидрогеологические.

Топографические изыскания заключаются: в съемке участков объекта проектирования — площадок расположения водозаборных сооружений, насосных станций, очистных сооружений, мест складирования осадков; геодезической съемке трасс водоводов, коллекторов, мест их пересечения с водоемами, оврагами, инженерными коммуникациями.

При проведении *гидрологических* работ определяются: расходы воды поверхностных водотоков, отметки уровней воды в них; глубины, скорости и режимы течений водотоков; толщина ледового покрова водотоков; сведения о судоходстве и лесосплаве, местах расположения и мощности существующих водозаборов и выпусков сточных вод; физико-химическая и бактериологическая характеристики воды в водотоках и водоемах; количество наносов, взвешенных частиц, сведения по санитарной обстановке, представляющие интерес при разработке проекта.

При выполнении *геологических* и *гидрогеологических* изысканий определяются: геологическое строение трасс водоводов и коллекторов, водозаборов, площадок очистных сооружений, насосных станций и др.; физико-механические свойства несущих грунтов оснований сооружений; положение уровня грунтовых вод; сведения об агрессивности грунтов и грунтовых вод по отношению к металлу и бетону; наличие блуждающих токов; особые условия строительства, подлежащие учету при проектировании сооружений и трубопроводов (просадочность грунтов, наличие закарстованности и горных выработок, сейсмичность, оползневые явления и др.).

Изыскания состоят из полевых, лабораторных и камеральных работ.

Для различных стадий проектирования рабочего проекта и рабочей документации проводятся детальные изыскания; изыскания под проект и рабочую документацию проводятся одновременно. Особо следует выделить изыскания для определения глубины залегания и дебита подземных вод.

17.3. ПРОЕКТНЫЕ РАБОТЫ

Перед началом проектирования нового строительства, расширения и реконструкции действующих предприятий, зданий и сооружений должно выполняться технико-экономическое обоснование (ТЭО) или обоснование инвестиций в строительство (ОИС).

В ТЭО (ОИС) решаются вопросы технико-экономической целесообразности строительства объекта, сопоставляются при необходимости конкурирующие варианты, определяется площадка строительства, производится сбор исходных данных для проектирования, определяется необходимость проведения обследования строительных конструкций, выполняются научно-исследовательские рекомендации по технологии очистки воды и обработки осадка.

Разработка проекта нового строительства должна выполняться на основании решений, принятых в ТЭО или ОИС, при этом расчетная стоимость, предусмотренная в утвержденных ТЭО (ОИС), не должна быть увеличена в дальнейшем при проектировании и строительстве.

Проектно-сметная документация разрабатывается в соответствии с указанными выше СНиП в одну стадию — рабочий проект или в две стадии — проект и рабочая документация. Стадийность проектирования определяется в ТЭО.

Перед началом проектирования заказчиком проекта составляется задание на проектирование с участием генерального проектировщика и специализированных организаций, в котором устанавливаются требования по внедрению новой техники и передового опыта, показатели по эффективности капиталовложений, снижению материалоемкости и трудоемкости строительства и росту производительности труда.

В проектах (рабочих проектах) осуществляется необходимая доработка и детализация проектных решений, принятых в ТЭО (ОИС), и уточняются основные технико-экономические показатели. СНиП установлен состав проектов (рабочих проектов) и рабочей документации, а также указано, кем они должны подписываться. В процессе проектирования оформляется разрешение на водопользование, которое выдается органами по регулированию использования и охране вод.

Проектно-сметная документация, разработанная в соответствии с нормами, правилами, инструкциями, государственными стан-

дартами, удостоверяется соответствующей записью в материалах проекта, после этого подвергается экспертизе (рабочий проект) и согласованию с органами государственного надзора. В документе об утверждении проекта (рабочего проекта) должны содержаться основные данные и технико-экономические показатели предприятий, зданий или сооружений.

Перед началом работ заказчик проекта определяет генерального проектировщика объекта, а при разработке проектно-сметной документации на строительство генеральным проектировщиком назначается проектная организация, разрабатывающая технологическую часть проекта, т.е. отраслевой проектный институт, субподрядчиков и т.д. Стоимость проектных работ определяется на основе «Сборника цен на проектные и изыскательские работы». Важной задачей при строительстве сооружений и объектов водоотведения является авторский надзор, выполняемый на основании положения «Авторский надзор за строительством зданий и сооружений» (СП II-110-99. Госстрой России, 1999 г.).

За рубежом, а в последние годы и в РФ проектирование выполняется государственными или частными фирмами на конкурсной основе и по итогам проведения тендеров.

Для выполнения отдельных разделов проектов (строительной части, автоматики, контрольно-измерительных приборов и др.) могут по контракту привлекаться другие фирмы.

17.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Системы водоотведения населенных пунктов подразделяют на внеплощадочные, уличные, внутриквартальные и внутренние (внутри зданий).

Внеплощадочная водоотводящая система состоит из коллекторов с сооружениями на них, насосных станций, очистных сооружений, сооружений для обработки осадков сточных вод, выпусков сточных вод в водоемы. Внутригородская водоотводящая система включает сети и насосные станции.

При разработке проектной документации водопровода и канализации широко используются материалы научно-исследовательских организаций, работающих в области водного хозяйства.

Основным нормативным документом при проектировании сооружений водоотведения являются СНиП «Канализация. Наруж-

ные сети и сооружения», к которому разработаны ряд пособий: по объему и содержанию технической документации внеплощадочных систем водоснабжения и канализации; составлению технико-экономической части проектов внеплощадочных систем водоснабжения и канализации; проектированию систем сбора и подачи сточных вод; проектированию сооружений для очистки сточных вод;

Стоимость строительства систем и сооружений водоотведения составляет в среднем 10–20% от общей стоимости строительства объектов. Перед проектными организациями, работающими в области водоснабжения и водоотведения, стоят две основные задачи:

1) обеспечение наибольшей эффективности капитальных вложений в строительство систем и сооружений;

2) рациональное использование водных ресурсов и защита источников воды от загрязнения и истощения.

В целях сокращения сроков строительства объектов внедряется комплектно-блочное решение зданий и сооружений, изготовление строительных конструкций и комплектация оборудования осуществляются в заводских условиях. На строительных площадках производится монтаж. Так как большинство систем и сооружений водоотведения было построено и пущено в эксплуатацию в 70–80 годы XX в. в соответствии с существовавшими в те годы нормативными требованиями, сегодня они нуждаются в модернизации или реконструкции. Построенные ранее сооружения водоотведения обладают определенными резервами, которые возможно использовать для реконструкции по современным технологиям очистки сточных вод, что при небольших капитальных вложениях делает возможным их функционирование в течение 20–30 лет.

17.5. СРАВНЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Особое значение в проектировании уделяется выявлению наиболее экономичного проектного решения. Для этого в проекте рассматриваются различные варианты проектных решений и производится сравнение их технико-экономических показателей. Итоги сравнения, как правило, приводятся в табличной форме (табл. 17.1). Расчет отдельных элементов затрат базируется на ис-

Таблица 17.1

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. руб.				
В том числе строительно-монтажных работ	»				
Оборудование и пр.	»				
Годовые эксплуатационные расходы	»				
Себестоимость 1 $м^3$ воды (сточных вод)	руб.				
Численность обслуживающего персонала	чел.				
Годовая потребность:					
в электроэнергии	тыс. кВт				
тепловой энергии	Гкал				
реагенте	т				
Расход стальных труб	тыс. т				
Продолжительность строительства	год				
Приведенные затраты	тыс. руб.				
Приведенные затраты на 1 $м^3$ годовой производительности	руб.				

ходных данных, разработанных в различных разделах проектов. На основе сопоставления вариантов выбирается наиболее экономичный.

Годовые эксплуатационные расходы слагаются из отдельных элементов затрат, тыс. руб.:

$$C = C_{реаг} + C_{зп} + C_{эл} + C_{т} + C_{ам} + C_{в} + C_{тр} + C_{пр} + C_{к},$$

где $C_{реаг}$ — стоимость реагентов; $C_{зп}$ — заработная плата обслуживающего персонала; $C_{эл}$ — стоимость электроэнергии; $C_{т}$ — стоимость тепловой энергии; $C_{ам}$ — амортизационные отчисления; $C_{в}$ — стоимость воды, используемой на собственные нужды; $C_{тр}$ — затраты на текущий ремонт; $C_{пр}$ — прочие расходы; $C_{к}$ — затраты на капитальный ремонт.

При расчете отдельных составляющих эксплуатационных расходов используют данные, полученные от заказчика: стоимость реагентов, тепловой и электрической энергии, топлива, воды,

среднюю годовую заработную плату, исходные данные для составления смет и проектов организации строительства.

Одним из основных показателей, учитываемых при сравнении вариантов проектных решений, являются приведенные затраты. По каждому рассматриваемому варианту эти затраты определяются по формуле

$$П = C + E_n \cdot K, \qquad (17.1)$$

где C — эксплуатационные затраты по данному варианту; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый различным для разных производственных отраслей; K — капитальные вложения; для систем водоснабжения и канализации E_n принимается равным 0,16.

17.6. ОБЩИЕ КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Площадку для очистных сооружений следует располагать с подветренной стороны по отношению к жилой застройке и обязательно ниже города по течению реки. Высотное размещение очистных сооружений на выбранной площадке должно обеспечивать самотечное движение сточной воды, а сама площадка не должна затапливаться паводковыми водами. Очистные сооружения от границ жилой застройки должны быть отделены санитарно-защитными зонами, размеры зон зависят от расчетного расхода, необходимой степени очистки и состава сооружений.

Состав очистных сооружений зависит от пропускной способности, требуемого качества очистки сточных вод, выбранного метода обработки и использования осадков, а также от местных условий и обосновывается соответствующими технико-экономическими расчетами. Взаимное расположение сооружений должно учитывать возможность строительства комплекса очистки сточных вод по очередям и расширения. Сооружения и здания должны быть размещены возможно более компактно. Расстояние между отдельными сооружениями должно обеспечивать возможность прокладки технологических коммуникаций, устройства подъездных путей и проездов, требуемые противопожарные и санитарные разрывы. Кроме того, необходимо учитывать ширину заложения откосов планировки.

Прокладку технологических и инженерных коммуникаций необходимо производить по наиболее коротким направлениям, ком-

пактно, преимущественно вдоль проездов. Воздуховоды и тепловые сети рекомендуется прокладывать на низких опорах с устройством переходов над или под проездами. Проектируемые проезды должны обеспечивать движение грузового транспорта в обоих направлениях в один ряд. На заключительном этапе разработки генплана следует обозначить контуры зеленых насаждений.

При проектировании очистных сооружений следует предусматривать возможность их блокировки и обоснованного, оптимального числа эксплуатационных единиц. Необходимо предусмотреть сооружение обводных трубопроводов или каналов для аварийного сброса сточных вод, установку приборов и устройств для замера количества сточных вод, осадка и активного ила, расхода воздуха, пара и газа. На территории станции располагаются вспомогательные здания и сооружения: котельная, воздуходувная станция, лаборатория, административный корпус, мастерские, гараж и др.

Генеральный план очистных сооружений в зависимости от пропускной способности составляется в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000. На нем показывают основные и вспомогательные сооружения, трубопроводы и каналы, сети хозяйственно-питьевого водопровода, дождевой канализации, дороги, электрораспределительные устройства, паропроводы, газопроводы, трубопроводы теплофикации, кабели и пр. Генеральный план должен проектироваться с учетом санитарных и гигиенических требований, противопожарных мероприятий и техники безопасности.

Сточные воды должны проходить по всем очистным сооружениям самотеком (рис. 17.1); осадок из первичных отстойников, возвратный ил и избыточный активный ил обычно перекачиваются принудительно (рис. 17.2). Для обеспечения самотечного движения воды по очистным сооружениям отметка поверхности воды в подводящем канале у приемной камеры должна превышать отметку воды в водоеме при высоком горизонте воды в приемнике сточных вод.

Эта величина должна быть достаточной для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям, учитывая запас, равный 1–1,5 м, который необходим для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водоем. Нормальная работа очистной станции в большой мере зависит от правильного определения гидравлических потерь на входе и выходе сточной воды из сооружений, при протекании ее в каналах или трубопроводах, распределительных устройствах и др.

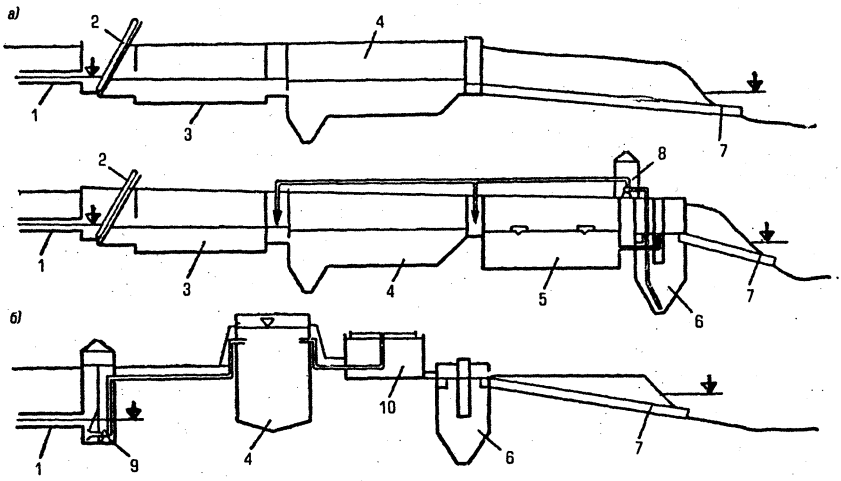


Рис. 17.1. Схемы движения сточной воды через очистные сооружения:
а — с самотечным движением; *б* — с насосными станциями;
1 — коллектор; 2 — решетки; 3 — песколовки; 4 — первичные отстойники;
5 — аэротенки; 6 — вторичные отстойники; 7 — выпуск в водоем; 8 — эрлифтная установка для перекачки активного ила; 9 — насосная станция; 10 — биофильтр

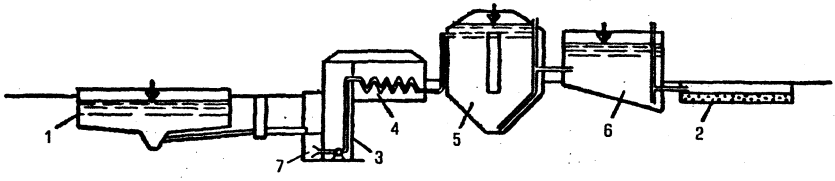


Рис. 17.2. Схемы движения осадка на очистных сооружениях:
1 — первичный отстойник; 2 — иловые площадки; 3 — насосная станция сырого осадка; 4 — теплообменник; 5 — сооружения для сбраживания осадка;
6 — сооружения для обезвоживания и обезвреживания осадка;
7 — насосная станция

Потери напора в отдельных сооружениях без учета подводящих коммуникаций ориентировочно можно принять по табл. 17.2.

Для упрощения предварительного построения высотного расположения сооружений, за исключением решеток, потери напора принимаются: половина — на входе в сооружение, а вторая половина — на выходе из него.

Общая величина потери напора на очистных сооружениях зависит от компактности расположения сооружений, т.е. от величины разрывов между ними и длины подводящих лотков. Ориентировочно ее можно принимать при механических и физико-хи-

Таблица 17.2

Потери напора на очистных сооружениях

№ п/п	Сооружения	Потери напора, см
1	Решетки	5–20
2	Измерительные устройства	5–10
3	Распределительные чаши	10–20
4	Песколовки	10–20
5	Преаэраторы	15–25
6	Горизонтальные отстойники	20–40
7	Вертикальные отстойники	40–50
8	Радиальные отстойники	50–60
9	Осветлители	60–70
10	Биофильтры с реактивными оросителями	h^* + 150
11	Биофильтры с неподвижными спринклерами	h^* + 250
12	Аэротенки	25–50
13	Контактные резервуары	40–60
14	Смесители	10–30
15	Песчаные фильтры	250–300

h^* — высота загрузки биофильтров, см.

мических способах очистки 2–3 м, при биохимических способах 4–6 м (для аэротенков) и 4–10 м (для биофильтров — в зависимости от высоты слоя загрузочного материала).

Для более точного определения отметок уровня воды в различных точках очистной станции необходимо учитывать потери на местные сопротивления.

После размещения очистных сооружений на генплане обозначают точки для проведения расчета (в местах изменения расхода воды, канала или сооружения). Направление расчета выбирают по наиболее длинному пути.

Для определения взаимного высотного расположения отдельных сооружений очистной станции одновременно с составлением генерального плана строят профили движения воды, осадка и ила (профили «по воде» и «по илу»). Профиль «по воде» представляет собой развернутый разрез по сооружениям по самому длинному пути движения воды от подводящего канала до выпуска в водоем. Профиль «по илу» начинается от первичных отстойников и заканчивается на сооружениях по обезвоживанию осадка.

17.7. ПРИМЕРЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ

Прежде чем рассматривать конкретные примеры очистных сооружений, необходимо определить, что означают понятия «крупнейший, крупный, средний и малый город».

Для крупнейших городов с населением более 1 млн чел. количество сточных вод превышает 0,4 млн $м^3$/сут, для крупных городов с населением от 100 тыс. до 1 млн чел. количество сточных вод составляет 25–400 тыс. $м^3$/сут. В средних городах проживают 50–100 тыс. человек, а количество сточных вод — 10–25 тыс. $м^3$/сут. В малых городах и поселках городского типа число жителей от 3 до 50 тыс. чел. (с возможной градацией 3–10 тыс. чел.; 10–20 тыс. чел.; 25–50 тыс. чел.). При этом расчетное количество сточных вод изменяется в достаточно широком диапазоне: от 0,5 до 10–15 тыс. $м^3$/сут.

Доля малых городов в Российской Федерации составляет 90% от общего числа городов. Необходимо также учитывать, что система водоотведения в городах может быть децентрализованной и иметь несколько очистных сооружений.

Рассмотрим наиболее показательные примеры крупных очистных сооружений в городах Российской Федерации: Москве, Санкт-Петербурге, Новгороде.

Курьяновская станция аэрации (КСА), Москва — старейшая и крупнейшая станция аэрации в России, на ее примере можно наглядно изучить историю развития техники и технологии очистки сточных вод в нашей стране. Площадь, занимаемая станцией, составляет 380 га; проектная производительность — 3,125 млн $м^3$/сут, из них почти $^2/_3$ составляют хозяйственно-бытовые и $^1/_3$ — промышленные сточные воды. В составе станции имеются четыре самостоятельных блока сооружений.

На рис. 17.3 и 17.4 приведены технологические схемы очистки сточных вод и обработки осадков Курьяновской станции аэрации.

Технология очистки сточных вод включает следующие основные сооружения: решетки, песколовки, первичные отстойники, аэротенки, вторичные отстойники, сооружения для обеззараживания сточных вод. Часть биологически очищенных сточных вод проходит доочистку на зернистых фильтрах.

На КСА установлены механизированные решетки с прозорами 6 мм. На станции эксплуатируются песколовки трех типов — вер-

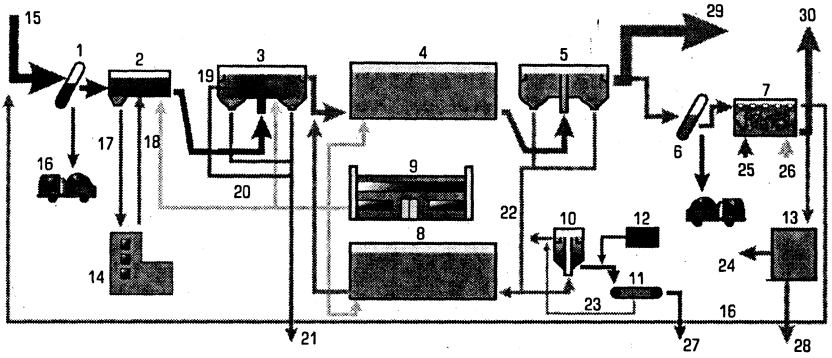


Рис. 17.3. Технологическая схема очистки сточных вод Курьяновской станции аэрации:
1 — решетка; 2 — песколовка; 3 — первичный отстойник; 4 — аэротенк; 5 — вторичный отстойник; 6 — плоское щелевое сито; 7 — скорый фильтр; 8 — регенератор; 9 — главное машинное здание ЦБО; 10 — илоуплотнитель; 11 — гравитационный ленточный сгуститель; 12 — узел приготовления раствора флокулянта; 13 — сооружения промводопровода; 14 — цех обработки песка; 15 — поступающая сточная вода; 16 — промывная вода со скорых фильтров; 17 — песковая пульпа; 18 — вода из цеха песка; 19 — плавающие вещества; 20 — воздух; 21 — осадок первичных отстойников на сооружения по обработке осадка; 22 -циркуляционный активный ил; 23 — фильтрат; 24 — обеззараженная техническая вода; 25 — техническая вода; 26 — воздух; 27 — сгущенный активный ил на сооружения обработки осадка; 28 — обеззараженная техническая вода в город; 29 — очищенная вода в р. Москву; 30 — доочищенная сточная вода в р. Москву

тикальные, горизонтальные и аэрируемые. В качестве первичных отстойников используются отстойники радиального типа диаметром 33, 40 и 54 м. Проектная продолжительность отстаивания составляет 2 ч. Первичные отстойники в центральной части имеют встроенные преаэраторы.

Биологическая очистка сточных вод осуществляется в четырехкоридорных аэротенках-вытеснителях, процент регенерации составляет от 25 до 50%. Воздух для аэрации в аэротенки подается через фильтросные пластины, в ряде секций аэротенков установлены трубчатые полиэтиленовые аэраторы фирмы «Экополимер», тарельчатые аэраторы фирм «Грин-фрог» и «Патфил». Одна из секций аэротенков реконструирована для работы по одноиловой системе нитри-денитрификации, в которой также предусмотрена система удаления фосфатов.

Вторичные отстойники, как и первичные, приняты радиального типа диаметром 33, 40 и 54 м. Доочистке подвергается около 30% биологически очищенных сточных вод.

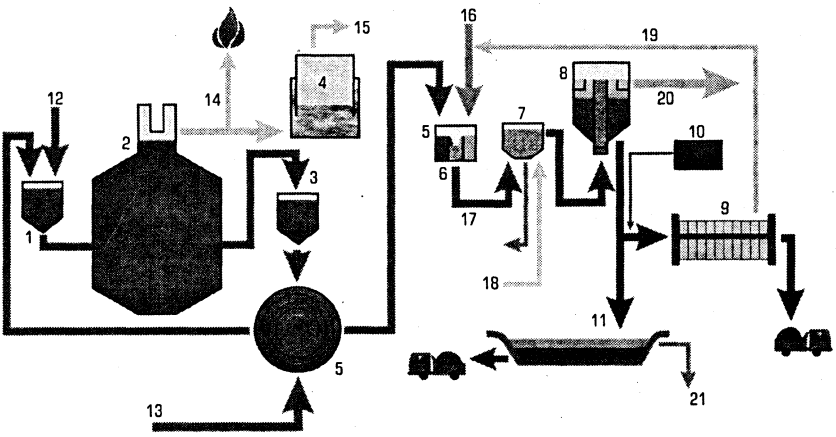


Рис. 17.4. Технологическая схема обработки осадков Курьяновской станции аэрации:
1 — загрузочная камера метантенка; 2 — метантенк; 3 — выгрузочная камера метантенков; 4 — газгольдер; 5 — теплообменник; 6 — камера смешения; 7 — промывной резервуар; 8 — уплотнитель сброженного осадка; 9 — фильтр-пресс; 10 — узел приготовления раствора флокулянта; 11 — иловая площадка; 12 — осадок первичных отстойников; 13 — избыточный активный ил; 14 — газ на свечу; 15 — газ брожения в котельную станции аэрации; 16 — техническая вода; 17 — песок на песковые площадки; 18 — воздух; 19 — фильтрат; 20 — сливная вода; 21 — иловая вода в городскую канализацию

Для сбраживания осадка на КСА используются метантенки, работающие в термофильном режиме, из монолитного железобетона с земляной обсыпкой и наземные диаметром 18 м с термоизоляцией стен. Выделяющийся газ отводится в местную котельную. После сбраживания 40–45% направляется на иловые площадки, а 55–60% — в цех механического обезвоживания. Механическое обезвоживание осадков осуществляется на фильтр-прессах.

Люберецкая станция аэрации (ЛбСА), Москва. Более 40% сточных вод Москвы и крупных городов Московской области очищаются на Люберецкой станции аэрации (ЛбСА), расположенной в пос. Некрасовка Московской области.

Люберецкие поля орошения были построены в довоенные годы. В 1959 г. здесь было начато строительство ЛбСА. Технологическая схема очистки сточных вод на ЛбСА практически не отличается от принятой схемы на КСА и включает следующие сооружения: решетки, песколовки, первичные отстойники с преаэраторами, аэротенки-вытеснители, вторичные отстойники, сооружения по

обработке осадка и обеззараживания сточных вод. В 1984 г. были построены первый, а затем и второй блок сооружений Новолюберецкой станции аэрации (НЛбСА), в настоящее время пропускная способность ЛбСА составляет 3,125 млн м^3/сут.

На станции установлены новые зарубежные и отечественные мелкопрозорные механизированные решетки (4–6 мм). Впервые на втором блоке НЛбСа применена современная одноиловая схема нитри-денитрификации с двумя ступенями нитрификации, где около 1 млн м^3/сут сточных вод подвергаются глубокой биологической очистке с удалением биогенных элементов из очищенных сточных вод.

Основными технологическими процессами обработки осадков сточных вод на ЛбСА являются: гравитационное уплотнение избыточного активного ила и сырого осадка; термофильное сбраживание; промывка и уплотнение сброженного осадка; полимерное кондиционирование; механическое обезвреживание на рамных фильтр-прессах; депонирование; естественная сушка (аварийные иловые площадки).

Центральная станция аэрации, Санкт-Петербург. Очистные сооружения Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга находятся в устье р. Невы на искусственно намытом острове Белом. Станция введена в эксплуатацию в 1978 г.; проектная пропускная способность — 1,5 млн м^3/сут была достигнута в 1985 г. Площадь застройки составляет 57 га.

Технологическая схема очистки сточных вод и обработки осадков Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга представлена на рис. 17.5.

В состав сооружений механической очистки входят: приемная камера, здание механизированных решеток, песколовки, первичные отстойники диаметром 54 м, аэротенки длиной 192 м. Подача воздуха в аэротенки осуществляется через мелкопузырчатые аэраторы. Регенерация активного ила составляет 33%. После вторичных отстойников через камеру выпусков очищенная сточная вода сбрасывается в р. Неву. Механическое обезвоживание осадков и активного ила осуществляется на центрипрессах. В цехе сжигания осадка установлены печи с псевдоожиженным слоем.

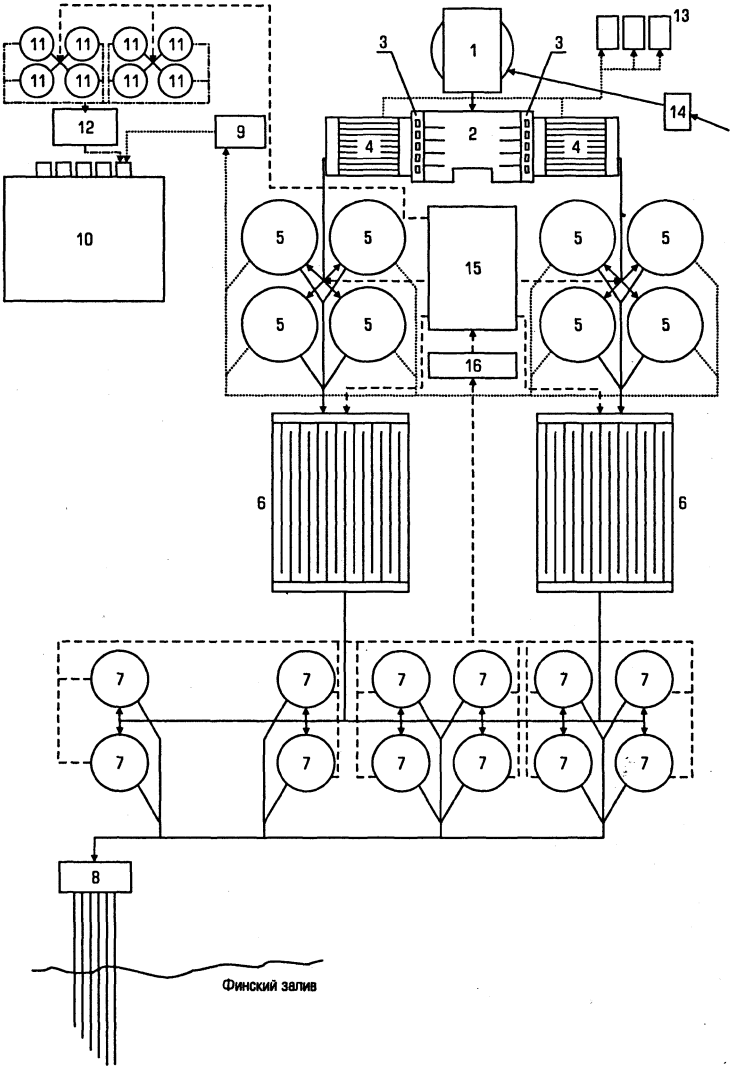


Рис. 17.5. Технологическая схема
Северной станции аэрации (Санкт-Петербург):
1 — главная насосная станция; 2 — приемная камера; 3 — механизированные решетки; 4 — горизонтальные аэрируемые песколовки; 5 — радиальные первичные отстойники; 6 — трехкоридорные аэротенки; 7 — радиальные вторичные отстойники; 8 — камера выпусков; 9 — насосная станция цеха обработки осадка; 10 — цех обработки осадка; 11 — илоуплотнители; 12 — насосная станция уплотненного ила; 13 — песковые площадки; 14 — павильон шахтных камер; 15 — блок насосно-воздуходувной станции; 16 — резервуар ативного ила; ——— — сточная вода; - - - - - активный ил; ····· — осадок; -·-·-·- — уплотненный ил

Станции пропускной способностью 70–280 тыс. м^3/сут. ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны типовые станции для биологической очистки сточных вод пропускной способностью 25–280 тыс. м^3/сут. Сооружения запроектированы в сблокированном варианте (блоки первичных отстойников, блоки аэротенков и вторичных отстойников — при горизонтальных и радиальных отстойниках) или в виде отдельно расположенных емкостей (радиальные круглые отстойники). Все сооружения выполняются из сборных железобетонных элементов. Генеральный план станции пропускной способностью 70–100 тыс. м^3/сут с горизонтальными отстойниками представлен на рис. 17.6.

Дезинфекция сточной жидкости предусматривается жидким хлором. Обработка осадка принята с аэробной минерализацией, центрифугированием и компостированием. Возможны варианты: со сбраживанием в метантенках и механическим обезвоживанием; с термической сушкой по методу встречных газовых струй и последующей сушкой на иловых площадках.

В составе комплекса очистных сооружений проектируются производственные и производственно-вспомогательные здания.

Станции пропускной способностью 25–70 тыс. м^3/сут разработаны в двух вариантах: с горизонтальными и радиальными отстойниками.

Первый вариант требует меньшей площади для размещения технологических емкостей, сокращается число и протяженность коммуникаций, обеспечивается возможность организации строительства поточным методом. На рис. 17.7 показан генеральный план станции биологической очистки сточных вод пропускной способностью 25–70 тыс. м^3/сут. В состав сооружений очистки сточных вод входят механизированные решетки типа МГ, песколовки с круговым движением и первичные радиальные отстойники. Биологическая очистка сточных вод проводится в аэротенках с нелинейно рассредоточенным впуском сточной воды и пневматической аэрацией. Дезинфекция сточных вод предусматривается жидким хлором.

Для обработки осадков сточных вод и ила предусмотрено их сбраживание в метантенках при термофильном режиме с последующей сушкой на иловых площадках. Кроме очистных сооружений на территории станции располагаются: насосная станция сырого осадка, насосно-воздуходувная станция, газгольдер, ко-

тельная, хлораторная, блок производственных и бытовых помещений. Производственно-вспомогательные здания и сооружения предусматриваются в составе комплекса очистных сооружений.

Станции пропускной способностью 1000–25 000 м^3/сут. В средних городах проживает 50–100 тыс. человек, а количество сточных вод составляет 10–25 тыс. м^3/сут.

ОАО ЦНИИЭП инженерного оборудования разработан проект станций очистки сточных вод пропускной способностью 1000–25 000 м^3/сут, которые включают следующие сооружения:

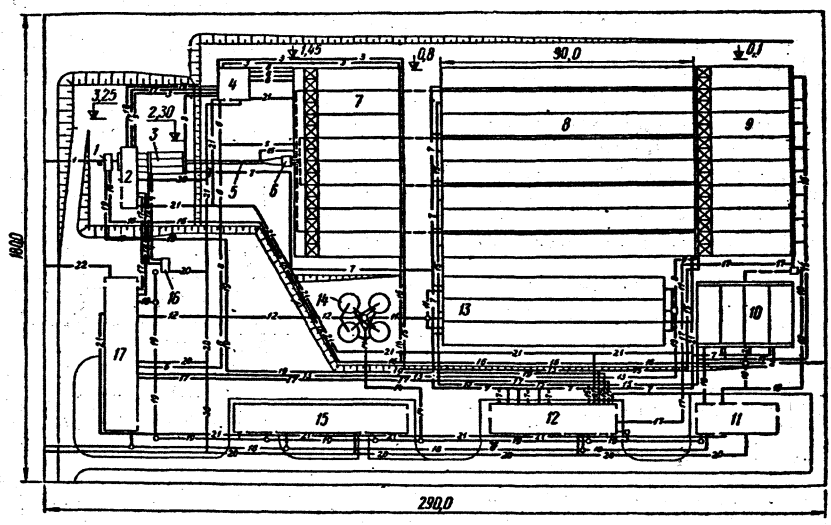


Рис. 17.6. Генплан станции пропускной способностью 25–70 тыс. м^3/сут: 1 — приемная камера; 2 — здание на четыре механизированные решетки МГ–11Т (1000 × 1600 мм); 3 — аэрируемые песколовки, D = 4 м; 4 — насосная станция песколовок и первичных отстойников; 5 — лоток Вентури; 6 — первичные отстойники; 7 — аэротенки; 8 — вторичные отстойники; 9 — ячейка аэротенка; 10 — контактные резервуары; 11 — хлораторная установка; 12 — насосно-воздуходувная станция с шестью турбовоздуходувками ТВ–176–1,6; 13 — B = 9 м; 14 — илоуплотнители, D = 9 м; 15 — блок административно-бытовые помещения — лаборатория — мастерские: 16 — бункера песка; 17 — корпус обезвоживания и сушки осадка с четырьмя центрифугами НОГШ–631–К2 и одной сушильной установкой. Трубопроводы: 1 — сточной воды; 2 — очищенных сточных вод; 3 — подачи воды на гидроэлеваторы для гидросмыва; 4 — пульпы; 5 — всплывающих веществ; 6 — сырого осадка; 7 — подачи воздуха; 8 — активного ила возвратного; 9 — активного ила избыточного; 10 — хлорной воды; 11 — минерализованной смеси; 12 — уплотненной минерализованной смеси; 13 — фугата; 14 — иловой воды; 15 — для опорожнения сооружений; 16 — аварийного сброса; 17 — технической воды; 18 — хозяйственно-противопожарный водопровод; 19 — бытовая канализация;. 20 — теплотрасса; 21 — электрокабель; 22 — газопровод

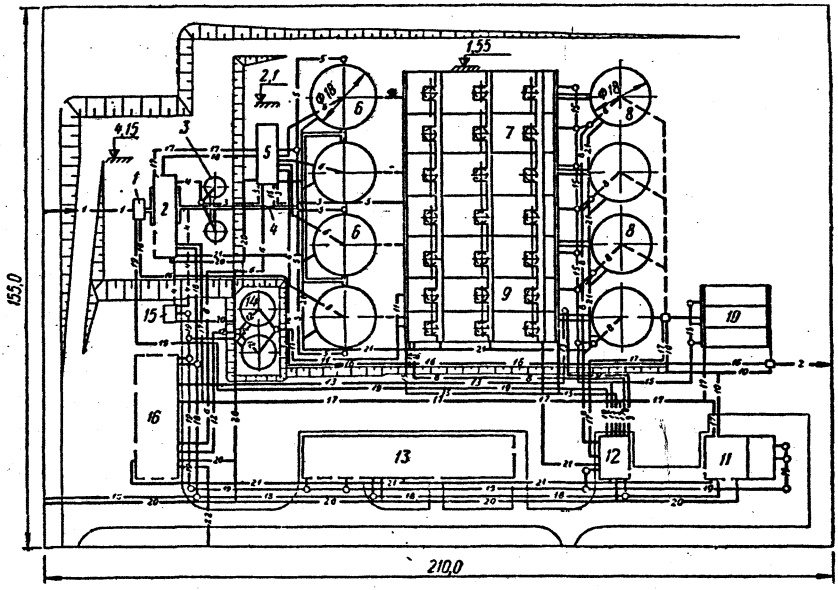


Рис. 17.7. Генплан станции пропускной способностью 70–100 тыс. м^3/сут: 1 — приемная камера; 2 — здание на четыре механизированные решетки МГ-7Т; 3 — песколовки горизонтальные с круговым движением сточных вод; 4 — лоток Вентури; 5 — насосная станция песколовок и первичных отстойников; 6 — отстойники первичные радиальные (впуск периферийный); 7 — аэротенки с механическими аэраторами; 8 — отстойники вторичные радиальные (впуск периферийный); 9 — минерализаторы; 10 — контактные резервуары; 11 — хлораторная; 12 — насосная станция активного ила; 13 — блок административно-бытовые помещения — лаборатория — мастерские; 14 — илоуплотнители; 15 — бункеры песка; 16 — корпус обезвоживания осадка с центрифугами. Трубопроводы: 1 — сточных вод; 2 — очищенных сточных вод; 3 — рабочей воды гидроэлеватора; 4 — пульпы; 5 — плавающих веществ; 6 — сырого осадка; 7 — воздуха: 8 — возвратного активного ила; 9 — избыточного активного ила; 10 — хлорной воды; 11 — минерализованной смеси; 12 — уплотненной минерализованной смеси; 13 — фугата; 14 — иловой воды; 15 — опорожнения сооружений; 16 — аварийного сброса; 17 — технической воды; 18 — хозяйственно-противопожарный водопровод; 19 — бытовая канализация; 20 — теплосеть; 21 — электрокабель; 22 — газопровод

тангенциальные песколовки; аэротенки с одноиловой системой денитри-нитрификации; вторичные двухбункерные отстойники с тонкослойным модулем; биореакторы доочистки сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ на различных носителях; сооружения дезинфекции сточных вод на установках УФО фирмы «Лит»; аэробный стабилизатор активного ила; производственно-вспомогательное здание (насосно-воздуходувная станция и ленточные фильтр-прессы для обработки смеси сырого

осадка и стабилизированного активного ила и др.); песковые и аварийные иловые площадки.

На рис. 17.8 приведена технологическая схема сооружений по очистке сточных вод пропускной способностью 25 000 м^3/сут.

Аэротенки выполнены из монолитного железобетона и покрыты изнутри специальной гидроизолирующей смесью.

Для аэрации в нитрификаторах приняты аэраторы тарельчатого типа с резиновой перфорированной мембраной, в зоне денитрификации перемешивание иловой смеси осуществляется через щелевые трубы. Разделение иловой смеси происходит во вторичных двухбункерных отстойниках, время отстаивания принято 3,5 ч. После вторичных отстойников вода доочищается в двух биологических реакторах, установленных отдельно. Дезинфекция осуществляется на установках ультрафиолетового облучения фирмы «Лит». Предусмотрен вариант со строительством контактных резервуаров и хлораторной, работающей на жидком привозном гипохлорите.

Избыточный активный ил после аэробной стабилизации направляется на два ленточных фильтр-пресса. На случай аварии предусмотрены четыре иловые площадки размером 18 × 24 м.

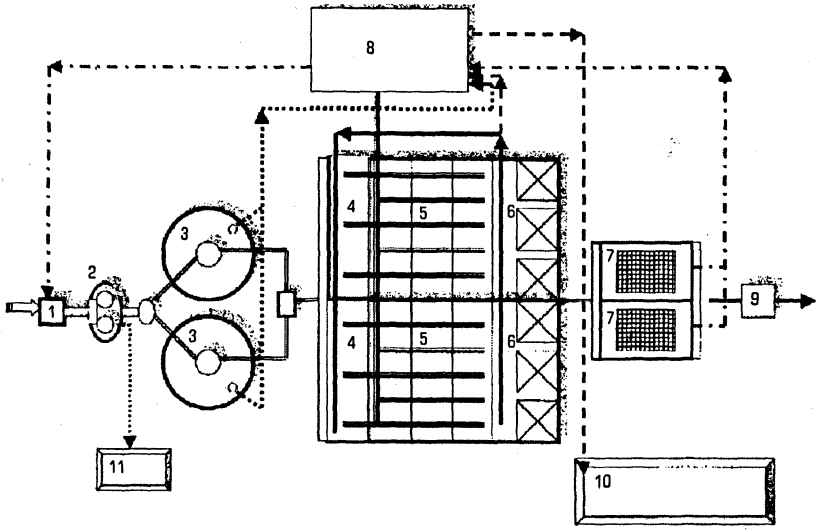


Рис. 17.8. Технологическая схема сооружений по очистке сточных вод пропускной способностью 1000–25 000 м^3/сут:
1 — приемная камера; 2 — тангенциальные песколовки; 3 — первичные отстойники с камерой; 4 — денитрификатор; 5 — нитрификатор; 6 — вторичный отстойник; 7 — биореактор доочистки; 8 — производственное помещение; 9 — дезинфекция сточных вод; 10 — песковые площадки; 11 — аварийные иловые площадки

Глава 18
ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

18.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Основные показатели сточных водах, отводимых от промышленных предприятий, в значительной мере обусловлены технологией производства и системой водоснабжения и отведения воды. При широчайшем общем перечне веществ, содержащихся в сточных водах предприятий, существует ряд характерных отличий их от городских, составной частью которых они являются.

Все загрязнения промышленных сточных вод по видам делят на растворимые и нерастворимые вещества минерального и органического строения, а также летучие вещества и газы. Современные технологии очистки воды отличаются большим разнообразием методов. Все существующие методы очистки воды делятся на два вида по принципу воздействия на загрязнения — *разделительные* и *деструктивные*.

При осуществлении разделительного процесса снижение величин санитарно-химических показателей обусловлено извлечением загрязнений. Применение деструктивных процессов воздействия на систему загрязнений сопряжено с разрушением первоначальных веществ и появлением в воде продуктов деструкции. Следовательно, разделительные процессы очистки воды обеспечивают уменьшение массы загрязнений в обрабатываемой воде, в то время как деструктивные видоизменяют их химический состав. Если в результате применения разделительных процессов появляется возможность получения утилизируемых продуктов, то такие методы очистки воды называется *регенеративными*.

Общей задачей очистки производственных сточных вод является достижение показателей, установленных для условий выпуска или использования очищенной воды. Основными направлениями решения этой задачи могут быть тотальная (общая), локальная или селективная система очистки сточных вод.

При разработке систем очистки производственных сточных вод необходимо учитывать также то, что полностью или частично они

поступают в коммунальные системы водоотведения, конечным звеном которых являются станции биологической очистки сточных вод. Поэтому направления очистки производственных сточных вод должны определяться не только технологическими требованиями к качеству оборотной или повторно используемой воды, но и условиями минимизации содержания биологически стойких и токсичных компонентов при отведении воды в коммунальные системы.

18.2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Одним из распространенных видов загрязнений производственных сточных вод являются нерастворимые минеральные и органические примеси, размеры и концентрация которых колеблются в широких пределах.

В технологических процессах механической очистки применяются усреднение, процеживание, гравитационное и инерционное разделение, а также фильтрование. Все методы очистки сточных вод от этих загрязнений относятся к разделительным процессам.

В зависимости от свойств загрязнений и требований к качеству очищенной производственной сточной воды применяют различные процессы и очистные сооружения, а также их комбинации. Задержание крупных примесей осуществляют с использованием процесса процеживания. Для извлечения более мелких дисперсных загрязнений применяют гравитационное разделение и фильтрование. Процесс инерционного отделения загрязнений используют при их высоком содержании в сточных водах и наличии разности в их плотностях.

Механическая очистка, как правило, является предварительной и, реже, единственной ступенью технологического процесса очистки производственных сточных вод.

Сооружения и установки, осуществляющие локальную механическую очистку сточных вод, как правило, устанавливаются на цеховых выпусках и локализованных потоках. Их функциональное предназначение — обеспечение надежной работы водоотводящих систем и регулирующих емкостей. Выполняя важную технологическую функцию, задачи очистки воды в полной мере они, тем не менее, не решают.

18.2.1. Усреднение поступающих сточных вод

Выравнивание колебаний концентрации загрязнений, регулирование расхода сточных вод, а также выделение нерастворимых примесей из воды обеспечивают процесс усреднения, решая одну из задач механической очистки.

В зависимости от характера изменения величин расхода и концентрации загрязнений режим поступления сточных вод в отводящую систему предприятия может быть представлен одним из характерных графиков, приведенных на рис. 18.1.

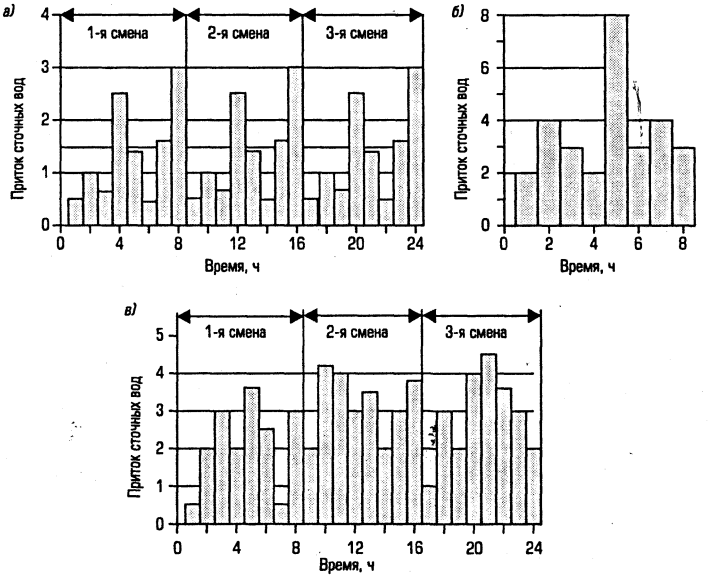


Рис.18.1. Режимы отведения производственных сточных вод: *а* — циклический; *б* — залповый; *в* — несистематический

Изначально усреднение сточных вод рассматривалось как наиболее простой способ достижения выполнения требований к показателям отводимых сточных вод, так как усредненный сток давал меньшее число показателей, превышающих установленные ПДК или превышающих их на меньшую величину.

В дальнейшем, когда установленные значения ПДК оказались меньше усредненных величин показателей, усреднение стало подготовительной операцией для обеспечения стабильной работы очистных систем. Поступление на очистные сооружения произ-

водственных сточных вод с постоянным расходом и усредненной концентрацией загрязнений создает ряд преимуществ — повышение эффективности как механической, так и последующей физико-химической и биологической очистки сточных вод. В результате этого достигаются более высокие качественные показатели очищенной воды. Введение в комплекс очистных сооружений резервуаров-усреднителей позволяет продлить срок службы очистных сооружений.

Для выравнивания колебаний концентрации загрязнений в поступающих сточных водах применяют усреднение, основанное на принципах дифференцирования потока или перемешивания.

Сточная вода при подходе к усреднителю с дифференцированием потока (рис. 18.2) разветвляется на две части и подается в равных количествах к правой и левой половинам, а затем поступает в распределительные желоба, равномерно распределяющие сточную воду по всему сечению усреднителя. Часть сточной воды, поступившая в первый, наиболее короткий коридор, сразу же начинает сливаться в сборный желоб, где смешивается с водой, поступающей из других коридоров. Часть же стока из длинного коридора начнет сливаться в сборный желоб значительно позже и

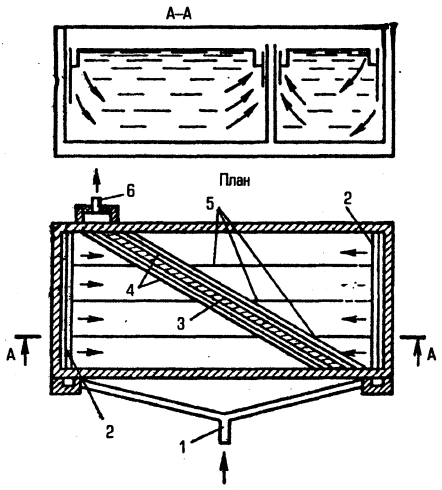


Рис. 18.2. Усреднитель концентрации сточных вод с дифференцированием потока:
1 — водоподающий канал; 2 — распределительный лоток; 3 — глухая диагональная перегородка; 4 — сборные лотки; 5 — продольные вертикальные перегородки; 6—водоотводящий канал

будет смешиваться с водой, поступившей в усреднитель ранее из более коротких коридоров. Таким образом, усреднение концентрации сточных вод происходит в результате разделения отдельных частей потока во времени.

В усреднителях с перемешиванием поступающей сточной воды применяются механические мешалки, насосы и др. Наиболее удобными в эксплуатации являются перфорированные трубчатые барботеры, особенно из некорродирующих материалов (например, из полиэтилена). Строительный материал для усреднителей выбирают с учетом химического состава сточных вод. Для концентрированных промышленных сточных вод усреднители обычно размещают после отстойников или оборудуют их отстойной частью.

Усреднители с дифференцированием потока рекомендуется применять при залповых сбросах концентрированных сточных вод. При циклических колебаниях рекомендуется применять усреднитель с перемешиванием.

В зависимости от местных условий и компоновочных решений резервуар-усреднитель может быть как отдельно стоящим, так и расположенным внутри здания очистных сооружений. Резервуар выполняется из металла, сборного или монолитного железобетона. Высотное положение резервуара-усреднителя должно обеспечивать самотечное поступление в него сточных вод.

18.2.2. Процеживание сточных вод

Процессы процеживания применяют для выделения из сточной жидкости крупных плавающих веществ и более мелких, главным образом волокнистых, загрязнений. Для выделения крупных веществ используют решетки, а более мелких частиц — сетки, волокноуловители и микропроцеживатели.

Решетки для предварительной очистки необходимо предусматривать на всех очистных станциях. Конструкции решеток, применяемых для процеживания производственных сточных вод, аналогичны используемым на городских очистных сооружениях.

Для выделения мелких взвешенных веществ чаще всего применяют барабанные сетки с ячейками 0,5 × 0,8 мм.

Для удаления волокна из сточных вод предприятий используют волокноуловители разных конструкций.

Волокноуловитель дискового типа (рис. 18.3) предназначен для извлечения волокнистых загрязнений из сточных вод предприятий шерстяной промышленности. Поступающие сточные воды через

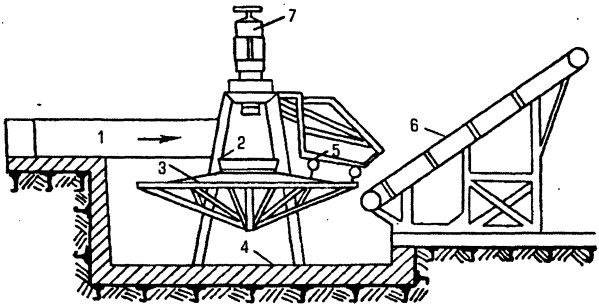


Рис. 18.3. Волокноуловитель дискового типа:
1, 4 — канал; 2 — распределительный барабан; 3 — фильтрующий диск;
5 — съемное устройство; 6 — транспортер; 7 — приводное устройство

распределительное устройство *2* изливаются на поверхность фильтрующего диска *3*. Вода процеживается и стекает в отводящий канал *4*. Волокна, отлагающиеся на поверхности фильтрующего диска, отделяются устройством *5* и направляются на транспортер *6* для последующей утилизации. Эффективность задержания волокна достигает 80%.

Существенным недостатком дискового волокноуловителя является необходимость создания значительного перепада уровней воды в поступающем и отводном каналах.

18.2.3. Очистка сточных вод инерционным разделением

Инерционное разделение основано на различии скоростей движения сплошной фазы (воды) и дисперсных частиц (жидких и твердых) в поле центростремительных сил. Оборудование для очистки сточных вод, использующее этот принцип, представлено разными типами гидроциклонов, жидкостных сепараторов и центрифуг.

Гидроциклоны осуществляют разделение твердых загрязнений и воды с использованием сил инерции. Их применяют для осветления сточных вод и сгущения осадков. По конструктивным особенностям они подразделяются на напорные и открытые.

Напорные гидроциклоны используют для выделения только оседающих, агрегатоустойчивых, грубодисперсных примесей (рис. 18.4).

Главные недостатки напорного гидроциклона — большой расход электроэнергии, а также износ стенок аппарата. Для предотвращения износа изнутри стенки футеруются износостойкими материалами.

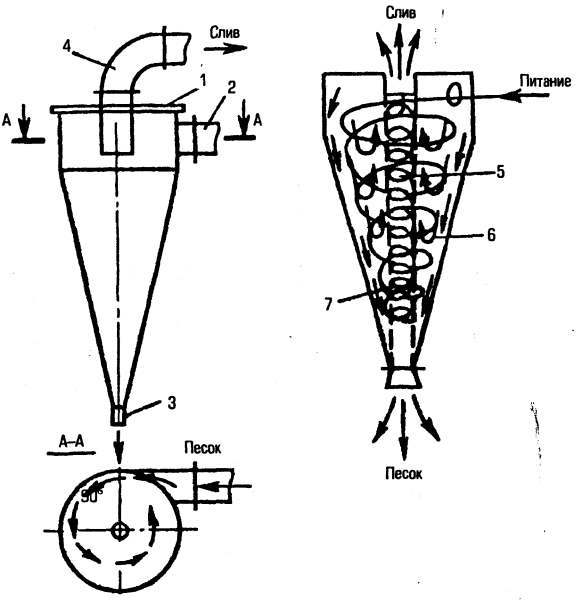


Рис. 18.4. Напорный гидроциклон:
1 — крышка; 2 — труба; 3 — отверстие; 4 — сливной патрубок;
5 и 6 — внутренний и внешний винтовые потоки; 7 — воздушный столб

Открытые гидроциклоны используют для выделения из сточных вод оседающих и грубодисперсных всплывающих примесей. Открытые гидроциклоны бывают без внутренних устройств, с диафрагмой и цилиндрической перегородкой и многоярусные. Последние применяют для выделения тяжелых, неслеживающихся, грубодисперсных примесей и нефтепродуктов.

Конструкция открытого многоярусного гидроциклона показана на рис. 18.5. Достоинства гидроциклонов — их компактность и простота обслуживания. Кроме того, они имеют высокую пропускную способность.

Жидкостные сепараторы предназначены для разделения эмульсий и суспензий в поле центростремительных сил. Особенность их устройства заключается в малых величинах длины пути разделения. На рис. 18.6 дана схема устройства барабана сепаратора.

Предварительная реагентная обработка сточных вод позволяет значительно повысить эффект очистки на жидкостных сепараторах.

Центрифуги в последнее время находят все более широкое применение для осветления сточных вод. Чаще всего используют оса-

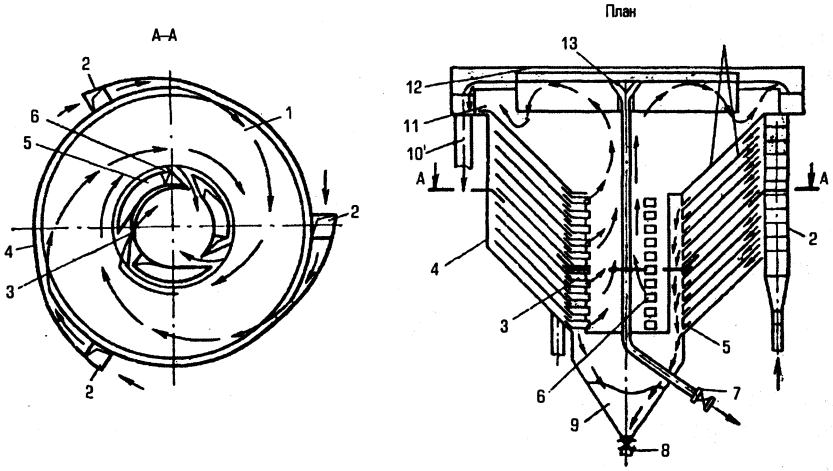


Рис. 18.5. Многоярусный открытый низконапорный гидроциклон:
1 — конические диафрагмы; 2 — впускные камеры; 3 — насадки для отвода воды; 4 — корпус; 5 — шламоприемные щели; 6 — окна для отвода масел; 7 — трубопровод для отвода масел; 8 — трубопровод для отвода шлама; 9 — бункер для шлама; 10 — выпуск очищенной воды; 11 — водосливная стенка; 12 — маслоудерживающий щит; 13 — воронка приема масел

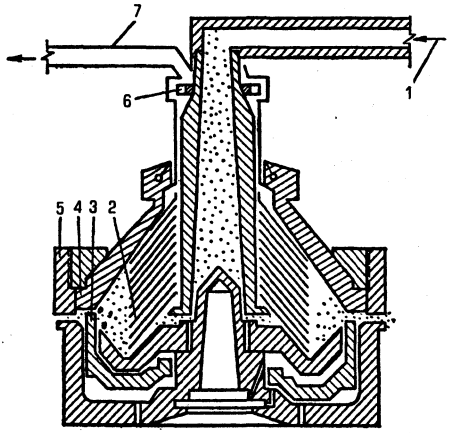


Рис. 18.6. Барабан сепаратора с пульсирующей выгрузкой осадка (в работе при выгрузке):
1 — подвод сточной воды; 2 — тарелки: 3 — поршень; 4 — крышка; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — напорный диск; 7 — отвод фугата

дительные центрифуги непрерывного или периодического действия для локальной очистки сточных вод, когда выделенный осадок благодаря ценным свойствам должен быть утилизирован. Наибольшее распространение получили осадительные горизонтальные шнековые центрифуги непрерывного действия типа ОГШ, центрифуги периодического действия маятникового типа ОМ и осветляющие трубчатые типа ОТР. Центрифуги периодического действия обычно применяют при концентрации взвешенных веществ не более 2–3 г/л.

Достоинством методов очистки сточных вод с использованием центростремительных и инерционных сил является большая производительность оборудования и компактность его размещения. К общим недостаткам следует отнести значительный вынос дисперсной фазы с очищенной водой. Поэтому наиболее эффективно этот тип разделителей использовать на стадии предварительной очистки сточных вод с высоким содержанием взвешенных веществ.

18.2.4. Очистка сточных вод гравитационным разделением

Отстаивание производственных сточных вод применяют для отделения нерастворенных загрязнений минерального и органического происхождения, проявляющих свойства осаждения или всплывания.

Отстойники предназначены для выделения оседающих нерастворенных примесей. В очистных системах производственных сточных вод используют как горизонтальные, так и радиальные отстойники. По своей конструкции они мало отличаются от отстойников, применяемых для осветления бытовых сточных вод.

В зависимости от вида сточных вод и требований к очищенной воде отстойники могут полностью обеспечивать необходимую эффективность очистки воды или входить в систему очистных сооружений.

Осветлители применяют для очистки и предварительного осветления сточных вод некоторых производств. Наиболее часто осветлители со взвешенным слоем осадка применяют в схемах очистки воды с коагулированием.

Принципиальная схема осветлителя показана на рис. 18.7.

Сточные воды с предварительно добавленным коагулянтом подают в нижнюю часть осветлителя. Хлопья коагулянта и увлекаемые им частицы взвеси поднимаются восходящим потоком воды

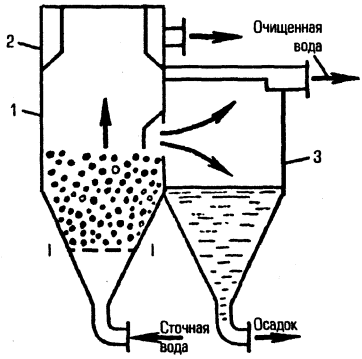


Рис. 18.7. Блок осветлителя со взвешенным слоем осадка и уплотнителя: 1 — осветлитель; 2 — желоб; 3 — осадкоуплотнитель

до тех пор, пока скорость их оседания не станет равной скорости восходящего потока в сечении *I–I*. Выше этого сечения образуется слой взвешенного осадка, через который фильтруется осветляемая вода. При этом наблюдается процесс слипания частиц взвеси и хлопьев коагулянта. Осадок отводится в осадкоуплотнитель, а осветленная вода поступает в желоб, из которого ее направляют на дальнейшую очистку.

Для отделения всплывающих нерастворенных примесей используют жироловки и нефтеловушки.

Жироловки предусматривают для предварительной обработки сточных вод, содержащих большое количество жиров. Различают цеховые и общие жироловки. Цеховые жироловки устанавливают у отдельных цехов, сточные воды которых содержат много жира, а общие жироловки — на общем стоке жиросодержащих вод.

Простейшая жироловка представляет собой горизонтальный резервуар, в котором всплывающие вещества (жиры) за период прохождения по нему жидкости успевают подняться наверх, где могут быть отделены от сточной жидкости.

Нефтеловушки применяют для очистки производственных сточных вод, содержащих нефтепродукты. Простейшие нефтеловушки — это прямоугольные, вытянутые в длину резервуары, в которых за счет разности плотности нефти и воды происходит их разделение. Нефть, находящаяся в воде в виде частиц различного размера, всплывает на поверхность, а минеральные примеси оседают на дно.

Интенсификация работы нефтеловушек достигается оборудованием их тонкослойными вставками. В ряде конструкций эти

вставки выполнены из гидрофобных материалов, способствующих укрупнению частиц нефти или масел. Приведенная на рис. 18.8 тонкослойная нефтеловушка по сравнению с горизонтальной имеет строительный объем в 5–6 раз меньший, и стоимость ее на 20–30% ниже при равном эффекте задержания нефти.

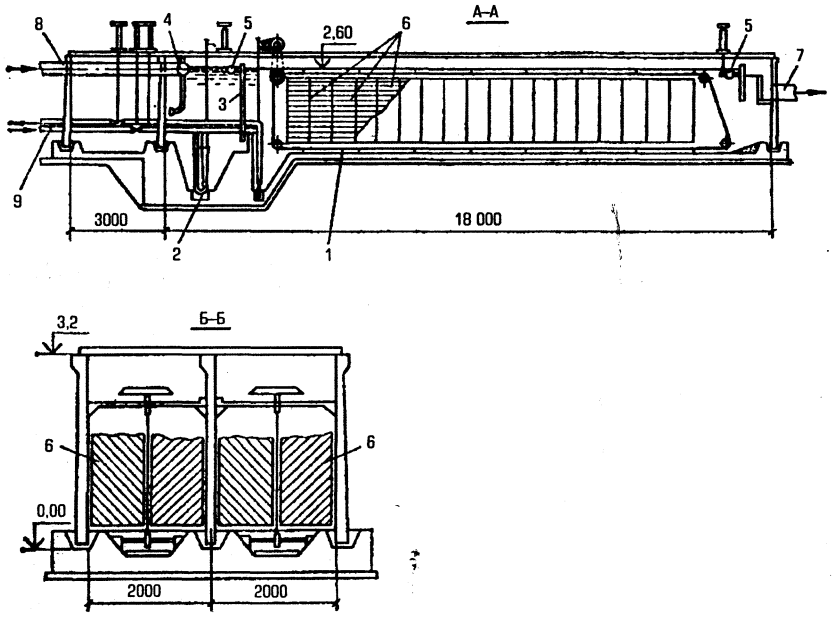


Рис. 18.8. Нефтеловушка с тонкослойными вставками:
1 — скребковый транспортер; 2 — гидроэлеватор; 3 — пропорциональное водораспределительное устройство; 4 — водораспределительная труба; 5 — нефтесборная труба с ручным приводом; 6— блок тонкослойных вставок; 7 — трубопровод для отвода воды; 8 — трубопровод подачи сточной воды; 9 — трубопровод для отвода осадка

В тонкослойной нефтеловушке сточная вода поступает в межполочное пространство блока тонкослойных вставок. При движении потока в ярусах блока частицы нефти всплывают к верхним плоскостям яруса, движутся по ним вверх к периферии и в пространстве между блоками и стенкой нефтеловушки всплывают на поверхность воды. Осветленная вода через водослив поступает в водосборный лоток.

В зоне грубой очистки нефть постоянно отводится через щелевую поворотную трубу.

Для выделения смол из сточной жидкости применяют отстаивание и фильтрацию. Смолы обычно содержатся в сточных водах коксохимических заводов, газогенераторных станций и некоторых других предприятий. Они представляют собой ценное сырье, поэтому их необходимо улавливать наиболее полно.

Отстойники-смоломаслоуловители бывают радиального и горизонтального видов. В отстойники-смоломаслоуловители (рис. 18.9) сточная вода поступает по центральной трубе, а осветленная вода отводится через затопленные отверстия в наружной стене в кольцевой водослив. Смола осаждается на дне отстойника и периодически удаляется скребковым устройством в центральный приямок, а оттуда откачивается насосом в сборник смолы. Перед откачкой выпавшую смолу подогревают паром до температуры 60 °С. Всплывшие на поверхности отстойника масла перетекают в радиальные лотки и отводятся в кольцевой сборник, расположенный вокруг центральной трубы. Масла из сборника откачиваются насосом. Средняя глубина рабочего слоя воды принимается 1,5 м, продолжительность отстаивания 3–4 ч. Эффект осветления достигает 80–90 %.

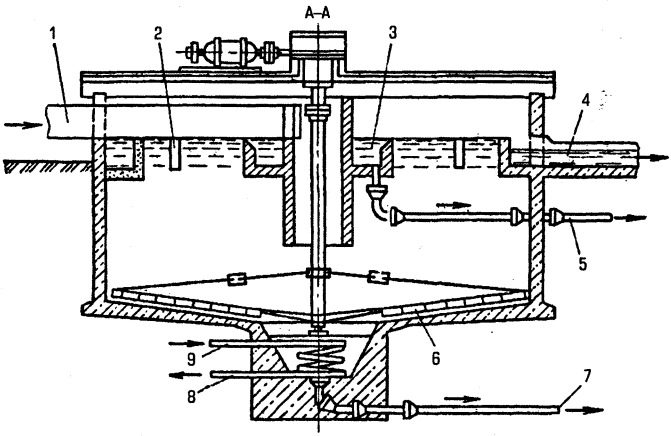


Рис. 18.9. Отстойник-смоломаслоуловитель:
1 — подводящий лоток; 2 — полупогруженная доска; 3 — лоток для сбора легких смол; 4 — лоток для отвода очищенной воды; 5 и 7 — лотки для удаления соответственно легких и тяжелых смол; 6 — скребки; 8 — трубопровод для отвода конденсата; 9 — трубопровод для подачи пара

18.2.5. Очистка сточных вод фильтрованием

Эмульгированные тонкодисперсные смолы и взвешенные вещества выделяют с использованием процессов фильтрования. Материалом для неподвижной загрузки могут служить металлическая стружка или коксовая мелочь, а также бурый уголь, торф, опилки. Фильтрование обеспечивает надежное задержание загрязнений, не отделившихся при отстаивании.

Применяют фильтры зернистые, намывные и мембранные. Фильтры бывают открытые (безнапорные) и закрытые (напорные).

Зернистые фильтры применяют при невысоком содержании взвешенных веществ. Хорошо зарекомендовали себя двухслойные фильтры. Фильтрующая загрузка этих фильтров состоит из двух слоев. Нижний слой загрузки — песок с крупностью зерен 1–2 мм, а верхний слой — антрацитовая крошка.

При реагентной очистке производственных сточных вод применяют скоростные контактные фильтры для удаления грубодисперсных и коллоидных примесей (рис. 18.10). Фильтр имеет распределительную систему, расположенную над поверхностью загрузки. Эта система позволяет избежать предварительного хлопьеобразования и создает условия для эффективной коагуляции примесей.

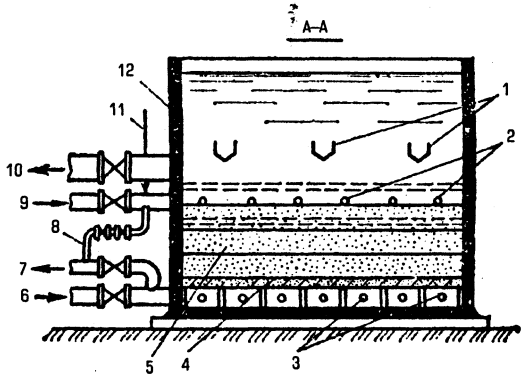


Рис. 18.10. Скоростной контактный фильтр КФ–5:
1 — желоба для отвода промывной воды; 2 — распределительная система; 3 — устройство для подачи промывной воды; 4 — пористый дренаж; 5 — загрузка фильтра; 6 и 9 — трубопроводы для подачи промывной и исходной воды; 7— трубопровод для отвода фильтрованной воды; 8 — соединительная линия с регулирующим устройством; 10 — линия сброса промывной воды; 11 — линия подачи коагулянта; 12 — корпус фильтра

Фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) из вспененного полистирола применяют для глубокой очистки как механически очищенных производственных сточных вод металлургической, химической, легкой промышленности, так и биологически очищенных сточных вод — городских или их смеси с производственными. Схема фильтра с плавающей загрузкой приведена на рис. 18.11.

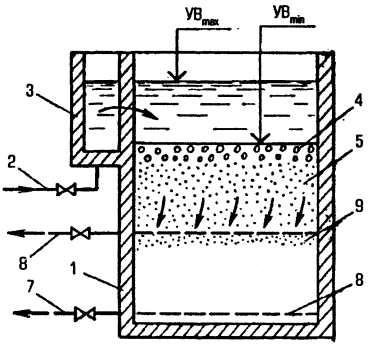


Рис. 18.11. Фильтр с плавающей пенополистирольной загрузкой:
1 — корпус; 2 — трубопровод для подачи сточной воды; 3 — распределительный канал; 4 — удерживающая решетка; 5 — плавающая загрузка; 6 — нижняя дренажная труба; 7 —отвод промывной воды; 8 — отвод фильтрата; 9 — верхняя дренажная труба

Поскольку зерна загрузки легче воды, в верхней части безнапорных фильтров для поддержания их в затопленном состоянии устанавливается решетка, под которой загрузка самопроизвольно сортируется по убывающей сверху вниз крупности зерен диаметром от 8–12 до 0,5–1 мм.

В безнапорных фильтрах исходная сточная вода по трубопроводу *2* поступает в надфильтровое пространство и фильтруется через плавающую загрузку сверху вниз. Фильтрат собирается дренажной трубой *9* и выводится из фильтра. При достижении предельных потерь напора (1–1,5 м) загрузка фильтра промывается нисходящим потоком воды.

Преимущества применения ФПЗ — экономичность, простота конструкции и эксплуатации, долговечность фильтрующей загрузки, эффективность очистки и способность загрузки к гидравлической сортировке в процессе промывки по убывающей крупности гранул.

Существуют также различные конструкции фильтров, предназначенных для очистки специфических производственных сточных

вод: например, кварцевые фильтры для извлечения из сточных вод соединений цинка и меди, дисковые фильтры для сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий, электромагнитный фильтр для сточных вод прокатных цехов.

Ультрафильтрация. В современной технологии очистки сточных вод мембранное разделение получило достаточное распространение. Отличие мембранного фильтрования заключается в том, что отделяемые от воды примеси не накапливаются в толще фильтрующей загрузки, а выносятся с обрабатываемой водой.

Схема многокамерного аппарата фильтр-прессного типа показана на рис. 18.12. В этих аппаратах мембраны уложены с обеих сторон плоских пористых дренажных пластин, которые расположены на расстоянии 0,5–5,0 мм друг от друга. Фильтрующие элементы зажаты между двумя фланцами, стянутыми болтами. Сточная вода последовательно проходит через все элементы, концентрируется и удаляется из аппарата. Фильтрат, прошедший через мембраны, уходит через дренажные слои. Аппараты имеют невысокую производительность, так как суммарная площадь мембран изменяется в пределах 60–300 м^2 на 1 м^3 их объема.

Схема ультрафильтрационной установки для разделения маслоэмульсионных сточных вод с концентрацией масел менее 10% показана на рис. 18.13.

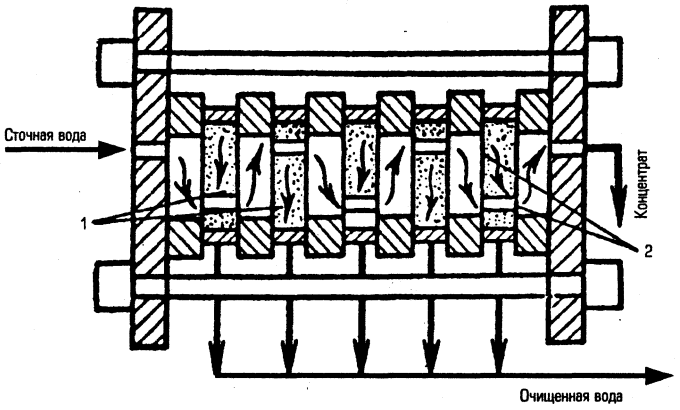


Рис. 18.12. Схема ультрафильтрационного аппарата фильтр-прессного типа: 1 — пористые пластины; 2 — мембраны

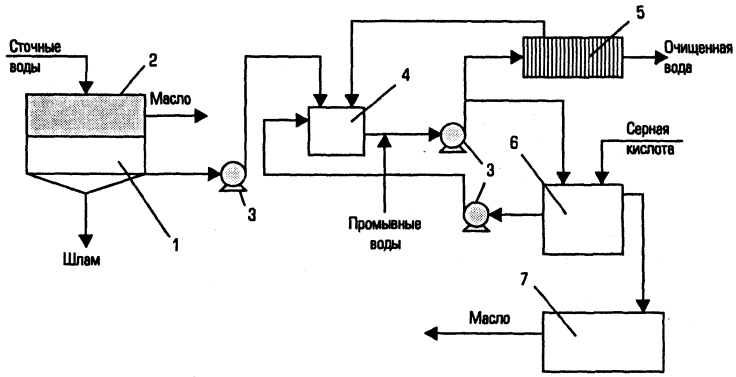


Рис. 18.13. Схема установки для разделения маслоэмульсионных сточных вод ультрафильтрацией:
1 — емкость; 2 — слой нерастворенных масел; 3 — насосы; 4 — емкость; 5 — установка ультрафильтрации; 6 — бак для дополнительного отделения воды; 7 — емкость для масла

18.3. ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Химическая очистка производственных сточных вод основана на процессах химического взаимодействия реагентов с загрязнениями и загрязнений с загрязнениями.

К методам химической очистки сточных вод относятся нейтрализация, окисление и восстановление.

18.3.1. Нейтрализация

Производственные сточные воды многих предприятий с повышенным содержанием кислот или щелочей нельзя отводить в канализационную сеть, на очистные станции и в водоемы без предварительного доведения концентрации этих загрязнений до допустимых значений.

Существует несколько способов нейтрализации производственных сточных вод:

- непосредственное смешение кислых стоков со щелочными перед спуском их в систему водоотведения;
- использование щелочности городских сточных вод;
- добавление реагента в пропорциях, необходимых для нейтрализации;

- фильтрование загрязненных вод через нейтрализующие материалы.

Наиболее часто встречаются производственные сточные воды с повышенной кислотностью, которые сильно воздействуют на материалы труб и отрицательно влияют на биологические процессы, происходящие на станциях аэрации. В производственных сточных водах могут содержаться сильные кислоты (первой группы), кальциевые соли которых хорошо растворимы в воде (HCl, HNO_3); сильные кислоты (второй группы), кальциевые соли которых труднорастворимы в воде (H_2SO_4, H_2SO_3), и слабые кислоты (H_2CO_3, CH_3COOH).

Нейтрализация сильных кислот первой группы не представляет затруднений, так как образуемые ими соли растворимы в воде и никакого осадка не дают. Сильные кислоты второй группы нейтрализовать значительно сложнее, так как это сопровождается образованием большого количества малорастворимых соединений, выпадающих в осадок, например гипса $CaSO_4$ при нейтрализации серной кислоты известковыми растворами.

Нейтрализацию сточных вод смешением кислых и щелочных потоков применяют при небольшом их количестве. Режимы сброса сточных вод, содержащих кислоты и щелочи, как правило, различны. При этом в некоторые часы суток поступают преимущественно щелочные воды, а в другие часы суток — кислые воды. Для перемешивания таких сточных вод строят специальные резервуары-усреднители для взаимной нейтрализации сточных вод.

Нейтрализацию добавлением реагентов проводят тогда, когда смешение стоков и использование активной щелочности сточных вод не дают желательных результатов, т.е. сточная вода остается кислой или щелочной.

В качестве реагентов используют доступные неорганические соединения. Для нейтрализации кислот применяют гидроксид натрия, известь, известняк, доломит, мрамор, мел, магнезит, соду, отходы щелочей и пр. Чаще всего используют гидроксид кальция (гашеная известь). Для нейтрализации щелочных сточных вод используют серную, соляную, азотную и другие кислоты.

Принципиальная схема станции реагентной нейтрализации показана на рис. 18.14.

Для нейтрализации кислых вод можно использовать также отходы местного производства, в частности шлам из цеха химической водоочистки ТЭЦ. Подобного рода установки применяют для нейтрализации сточных вод травильных цехов заводов черной металлургии.

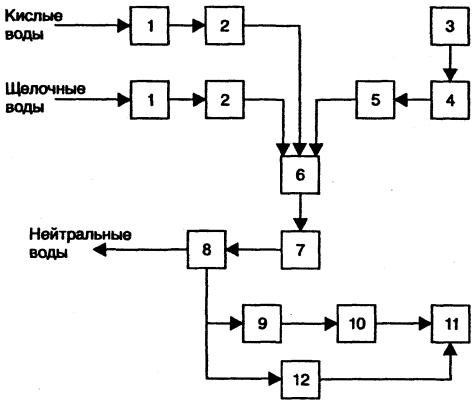


Рис. 18.14. Принципиальная схема станции реагентной нейтрализации: 1 — песколовки; 2 — усреднители; 3 — склад реагентов; 4 — растворные баки; 5 — дозатор; 6 — смеситель; 7 — нейтрализатор; 8 — отстойник; 9 — осадкоуплотнитель; 10 — вакуум-фильтр; 11 — накопитель обезвоженных осадков; 12 — шламовые площадки

Нейтрализация фильтрованием заключается в том, что сточную жидкость пропускают через слой материала, вступающего во взаимодействие с кислотами. В качестве загрузки применяют такие нейтрализующие материалы, как доломит, известняк, магнезит, мел, мрамор и др. Крупность фракций материала загрузки обычно 30–80 мм. При прохождении жидкости через такой фильтр реакция нейтрализации должна полностью заканчиваться. Этот способ имеет ряд преимуществ: он более прост и дешев, эффективен при неравномерной концентрации кислот в сточных водах.

При проектировании установок по нейтрализации кислых стоков все резервуары, трубопроводы, насосы, лотки и другую аппаратуру, соприкасающуюся с этой сточной водой, следует применять из кислотоупорного материала или предусматривать надежную изоляцию.

18.3.2. Окисление загрязнений

Окисление относится к деструктивным процессам очистки сточных вод. В качестве реагентов-окислителей используют хлор, гипохлорит кальция и натрия, хлорную известь, кислород и его соединения. Комплекс сооружений для очистки сточных вод окислением представляет собой реагентное хозяйство, которое состоит из склада реагентов, растворных баков и дозаторов, камеры реакций и отстойников. Этот метод используют в том случае, ко-

гда другими методами очистки, в том числе и биохимическими, не удается разрушить или удалить вредные вещества, содержащиеся в производственных сточных водах.

Окисление хлором и хлорсодержащими соединениями является широко распространенным методом. Его применяют для очистки сточных вод от сероводорода, гидросульфида, метилсернистых соединений, фенолов, цианидов и др.

В зависимости от агрегатного состояния вводимых в воду хлора или хлорсодержащих реагентов определяется технология обработки сточных вод. Если эту воду обрабатывают газообразным хлором или диоксидом хлора, то процесс окисления осуществляется в абсорберах; если хлор или диоксид хлора находится в растворе, то его подают в смеситель и далее в контактный резервуар, в которых обеспечиваются эффективное его смешивание и требуемая продолжительность контакта со сточной водой.

Окисление кислородом воздуха. Значительно шире, чем хлорсодержащие реагенты, для окисления сульфидных сточных вод целлюлозных, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов применяется кислород. С повышением температуры и давления скорость реакции и глубина окисления сульфидов и гидросульфидов увеличиваются. Схема окисления сульфидов кислородом воздуха дана на рис. 18.15.

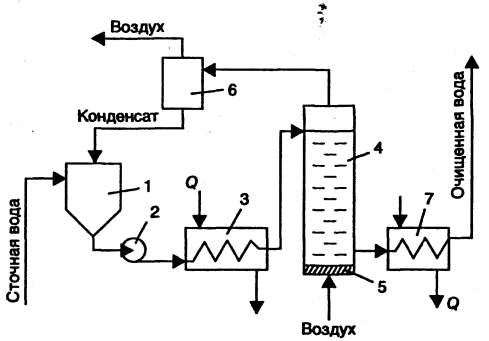


Рис. 18.15. Схема установки окисления сульфидов воздухом:
1 — приемный резервуар; 2 — насос; 3 — теплообменник; 4 — окислительная колонна; 5 — воздухораспределительное устройство; 6 — сепаратор; 7 — холодильник

Озонирование. Окисление озоном позволяет одновременно обеспечить обесцвечивание воды, устранение запахов и обеззараживание.

В процессе обработки сточной воды озон, подаваемый в реактор в виде озоновоздушной смеси, диспергированной на мельчайшие пузырьки, растворяется в воде и вступает в химические реакции с загрязнениями.

Озонированием можно очищать сточные воды от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений: мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводородов, пестицидов и др.

Установка по озонированию воды включает блок подготовки воздуха, генератор озона и контактные камеры.

Электрохимическая деструкция загрязнений. Разрушение загрязнений при электролизе сточных вод обусловлено процессами анодного окисления, катодного восстановления и действием окислителей. Электролизеры, предназначенные для осуществления электрохимической деструкции, оснащаются анодами, изготовленными из материалов, стойких к анодной поляризации, — графита, титана, покрытого окислами рутения, кобальта, марганца и др.

Предпосылками применения методов электрохимической деструкции являются наличие в сточных водах веществ, не подвергающихся биохимическому распаду, отсутствие на предприятиях сооружений для извлечения этих видов загрязнений и сложность обработки выделяемых осадков. В связи с высокими затратами электроэнергии эти методы используют при относительно высокой электропроводности сточных вод.

На рис.18.16 дана принципиальная схема очистки сточных вод от цианистых соединений методом электрохимического окисления.

Для повышения электропроводности сточных вод, снижения расхода электроэнергии, а также интенсификации процесса окисления цианидов к сточным водам предварительно добавляют минеральные соли.

Особенно эффективно добавление к сточным водам хлорида натрия. В этом случае окисление цианидов происходит в результате как их прямого электрохимического окисления на аноде, так и окисления соединениями хлора, выделяющимися на аноде вследствие электрохимического разложения хлорида натрия.

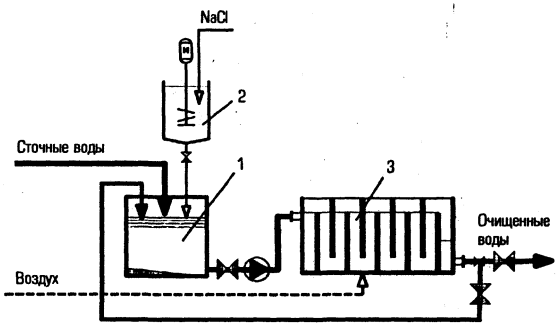


Рис. 18.16. Схема электрохимической очистки сточных вод от цианидов: 1 — резервуар-усреднитель; 2 — бак для приготовления концентрированного раствора хлорида натрия; 3 — электролизер

18.4. ПРОЦЕССЫ И СООРУЖЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Сооружения биологической очистки по определению не предназначены для удаления из воды биологически стойких соединений. Опыт их эксплуатации показывает, что биологической очисткой удаляются в основном сопутствующие загрязнения.

Учитывая особенности водоотведения многих предприятий, главные функциональные нагрузки в очистке производственных сточных вод, содержащих стойкие органические загрязнения, приходятся на технологические процессы, базирующиеся на физико-химических методах. Это обусловлено рядом особенностей этих технологий:

- достаточный выбор процессов, оказывающих воздействие на многие виды загрязнений, различающихся как по химическому, так и по фазово-дисперсному составу, обеспечивает принципиальную возможность их применения для очистки сточных вод до требуемых значений лимитирующих показателей;
- возможность эффективной работы как при постоянном, так и при периодическом режиме эксплуатации за счет малого периода вывода системы на номинальные параметры в соответствии с регламентом процесса;
- технологическая гибкость системы очистки воды при изменении показателей поступающей воды или изменении требований к качеству ее очистки;
- возможность полной автоматизации и диспетчеризации технологического процесса очистки воды и ряд других.

18.4.1. Коагулирование с использованием реагентов

Широкое применение процесса коагулирования в технике очистки производственных сточных вод обусловлено сложностью фазово-дисперсного состава загрязнений.

Этим способом очищают сточные воды, содержащие очень мелкие взвешенные вещества, например воды текстильных предприятий (красильные и отбельные отделения), вискозных фабрик и т.п., воды нефтеперерабатывающих заводов, содержащие эмульгированные продукты, банно-прачечные и душевые сточные воды, а также сточные воды заводов химической промышленности. Процесс коагулирования сточных вод неорганическими реагентами включает химические стадии — растворение и гидролиз коагулянтов и стадии физико-химических взаимодействий.

В результате коагуляции дисперсная система сточных вод утрачивает седиментационную устойчивость и становится доступной для эффективного применения разделительных процессов.

Наряду с явлениями собственно коагуляции образующиеся флокулы гидроксидов металлов, обладая развитой поверхностью, сорбируют многие дисперсные загрязнения сточных вод. При этом могут извлекаться вещества, непосредственно не участвовавшие в текущем процессе коагуляции. Кроме того, к образованию дисперсной фазы могут приводить реакции взаимодействия кислотных остатков и других анионов, образующихся на стадии гидролиза солей. Таким образом, процесс очистки сточных вод, основанный на использовании коагулянтов, необходимо рассматривать как многостадийный и многофакторный.

Одним из перспективных направлений является использование наряду с минеральными также органических полиэлектролитов.

Обобщение опыта применения полиэлектролитов для интенсификации флокуляции дисперсий позволяет заключить, что механизмы их взаимодействия с исходными дисперсными системами сточных вод, трансформированными в процессе коагулирования, более сложные, чем при флокуляции веществ с однородным химическим составом. Тем не менее в технологических процессах очистки производственных сточных вод достигнуты определенные успехи их применения.

В технологии коагулирования используют разные схемы, обеспечивающие наилучшие результаты очистки сточных вод в конкретных условиях.

Практический опыт коагулирования сточных вод, содержащих сложные органические соединения, включая ПАВ, синтетические красители, нефтепродукты и др., показывает, что для обеспечения достаточной степени очистки необходимы высокие дозы реагентов, достигающие нескольких кг на 1 $м^3$ обрабатываемых сточных вод. В результате этого образуются большие количества обводненных осадков и шламов.

18.4.2. Электрохимическое коагулирование

Для очистки промышленных сточных вод, содержащих стойкие системы загрязнений, проводят электролиз с использованием растворимых стальных или алюминиевых анодов. Аноды из железа и алюминия под действием постоянного электрического тока растворяются с образованием катионов железа или алюминия, которые, встречаясь с гидроксидными группами, образуют гидроксиды металлов в виде дисперсной фазы.

На практике наиболее широко используют безнапорные пластинчатые электрокоагуляторы, направление движения жидкости в которых может быть горизонтальным и вертикальным. Они могут быть однопоточными, многопоточными и смешанными.

Электрокоагуляция успешно применяется при очистке сточных вод гальванических производств, содержащих шестивалентный хром и ионы тяжелых металлов (меди, никеля, цинка и др.) (рис. 18.17). При электролизе происходит химическое восстановление хроматов и бихроматов ионами двухвалентного железа, образующимися при растворении стальных анодов. Гидроокиси железа и других тяжелых металлов эффективно задерживаются в отстойнике.

Электрокоагуляция применяется во многих отраслях промышленности: пищевой, химической, целлюлозно-бумажной, легкой, машиностроительной и др.

Достоинства метода электрокоагуляции: компактность установок и простота управления; отсутствие потребности в реагентах; малая чувствительность к изменениям условий проведения процесса очистки (температура, pH среды, присутствие токсичных веществ); получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами. Недостатком метода является повышенный расход металла и электроэнергии.

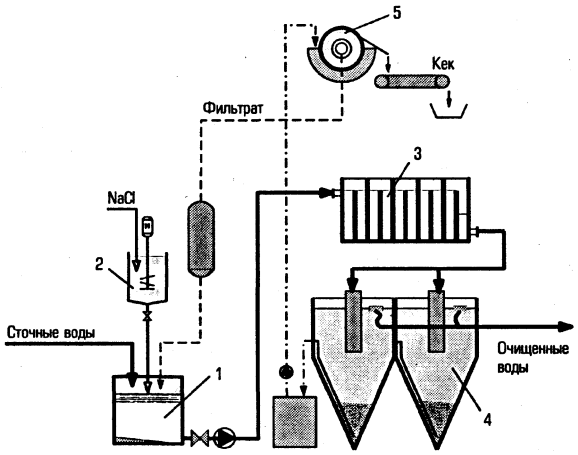


Рис. 18.17. Схема электрокоагуляционной установки для очистки сточных вод от шестивалентного хрома и ионов тяжелых металлов:
1 — резервуар-усреднитель; 2 — бак для приготовления раствора хлорида натрия; 3 — электрокоагулятор; 4 — отстойник; 5 — аппарат для обезвоживания осадка

18.4.3. Адсорбционно-пузырьковое разделение

В настоящее время технологии адсорбционно-пузырькового разделения (АПР) в очистке сточных вод получили всеобщее признание и широкое распространение. Они широко используются для очистки сточных вод легкой, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, пищевой, металлообрабатывающей и многих других отраслей промышленности.

Среди методов АПР в наибольшей мере распространены флотация и пенное фракционирование. Причем по существу происходящих явлений сочетание адсорбции дисперсии на газовой фазе и всплывания к открытой поверхности (флотация) с интенсивной инверсией фаз на ней (пенное фракционирование) обусловливает эффективность процессов в широкой области технологического использования.

Традиционным признаком классификации флотационных сооружений стал способ получения диспергированной газовой фазы (ДГФ).

Одним из наиболее распространенных методов получения ДГФ в очистных сооружениях является барботажный, когда диспергируемый газ проходит через поры (отверстия) фильтросного устройства, погруженного в воду, и образует поток газовых пузырьков,

Сооружения флотации и пенного фракционирования характеризуются простотой аппаратурного оформления и относительно малыми расходами энергии.

Процессы барботажной флотации и пенного фракционирования наиболее эффективны при обработке сточных вод, содержащих высокие концентрации ПАВ и других загрязнений, способных флотироваться и формировать устойчивую пену.

Флотационные установки со струйной аэрацией используются для очистки сточных вод, загрязнения которых способны образовывать достаточно прочные флотокомплексы, так как общая гидродинамическая картина в камере флотации характеризуется интенсивным движением потоков.

Для механического диспергирования газовой фазы используют различного вида устройства, движущиеся части которых попеременно соприкасаются с жидкой и газовой фазами. Энергичное перемешивание сточной воды во флотационных импеллерных установках создает в ней большое количество мелких вихревых потоков, что позволяет получить пузырьки определенной величины.

Флотация с механическим диспергированием воздуха применяется для удаления загрязнений, агрегативно устойчивых в условиях интенсивного перемешивания.

Компрессионная (напорная) флотация имеет широкую область применения, поскольку позволяет регулировать степень пересыщения в соответствии с требуемым эффектом очистки сточных вод при начальной концентрации загрязнений до 4–5 г/л и более. Наиболее часто компрессионная флотация применяется для очистки сточных вод от ПАВ, волокнистых веществ, нефти, нефтепродуктов, жиров и масел.

При электролизе сточных вод с использованием нерастворимых электродов в межэлектродном пространстве и на поверхностях электродов образуется газовая дисперсия, состоящая из мельчайших пузырьков. В составе электролизных газов бóльшая часть приходится на долю водорода, значительно меньшая — на долю кислорода, хлора, окислов углерода и азота.

Скорость газовыделения зависит от силы тока, плотности тока и электрохимического выхода реакции.

Электрохимический процесс сопровождается многими физико-химическими эффектами, благодаря которым электрофлотация оказывает многофакторное воздействие на систему загрязнений сточной воды, включая ее обеззараживание. Причем происходит

оно как вследствие бактерицидного действия окислителей, так и вследствие нарушения внутриклеточного равновесия бактерий при изменении их поверхностного электрического потенциала.

Наряду с положительным опытом применения флотационных процессов имеют место проблемы, уменьшающие эффективность и область использования флотации.

В процессах флотационной очистки сточных вод образуется пенный продукт, представляющий высококонцентрированную смесь отделенных загрязнений.

В настоящее время существует ряд направлений для решения проблемы обработки флотошламов путем их утилизации или обезвреживания. Наиболее перспективными представляются утилизация ценных компонентов флотошлама и его обезвреживание на объекте его образования.

18.4.4. Очистка сточных вод экстракцией

Принцип экстракционного метода очистки производственных сточных вод состоит в том, что при смешении взаимонерастворимых жидкостей содержащиеся в них загрязняющие вещества распределяются соответственно своей растворимости по закону распределения:

$$K = C_э/C_в, \qquad (18.1)$$

где K — коэффициент распределения, который для растворяемого вещества является вполне определенной величиной; $C_э$ и $C_в$ — концентрация веществ в растворителе (экстрагенте) и воде.

После достижения равновесия концентрация извлекаемого вещества в органической фазе во много раз превышает концентрацию его в водной фазе. Сконцентрированное таким образом в органическом растворителе вещество далее отделяется от растворителя и может быть утилизировано в технологическом процессе производства либо являться дополнительным товарным продуктом. Экстрагент после отделения от извлеченного вещества вновь используется для экстракционной очистки сточной воды.

Схема непрерывной экстракции в распылительных колоннах представлена на рис. 18.18. На схеме показаны распылительные колонны без насадки для экстракционной очистки сточных вод растворителем, более легким (рис. 18.18, *а*) и более тяжелым (рис. 18.18, *б*), чем вода. По первой схеме вода вводится в колонну под некоторым напором через распылительное устройство

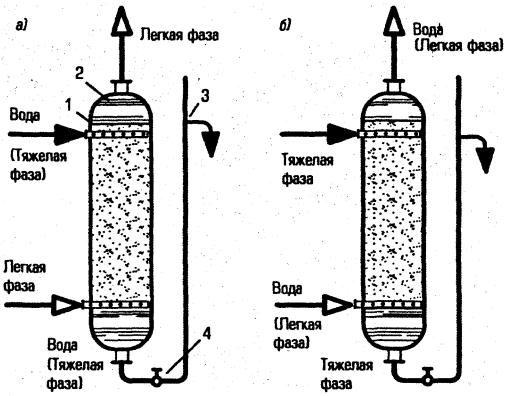


Рис. 18.18. Схема непрерывной экстракции в распылительных колоннах:
1 — уровень раздела фаз: 2 — слой легкой фазы; 3 — гидрозатвор:
4 — место установки вентиля для регулирования уровня раздела фаз

вмонтированное в колонну несколько ниже зоны расслоения эмульсии и выделения легкой фазы. Растворитель, извлекший растворенный компонент из сточной воды, собирается над уровнем воды, выше точки ее ввода в колонну, и отводится на ректификацию. По второй схеме, когда применяется растворитель тяжелее воды, подводящие и отводящие воду и экстрагент устройства размещены в колонне в обратном порядке.

18.4.5. Сорбционная очистка сточных вод

Адсорбцию используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, гербицидов, пестицидов, ароматических нитросоединений, ПАВ, красителей и др. Достоинствами метода являются высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, а также рекуперации этих веществ.

В качестве сорбентов используют активные угли, синтетические сорбенты и некоторые отходы производства (золу, шлаки, опилки и др.). Минеральные сорбенты — глины, силикагели, алюмогели и гидроксиды металлов для адсорбции различных веществ из сточных вод используют мало, так как энергия взаимодействия их с молекулами воды велика — иногда превышает энергию адсорбции. Наиболее универсальными из адсорбентов являются активные угли, однако они должны обладать определенными свойствами.

Активированные угли, предназначенные для очистки промышленных сточных вод, должны быть относительно крупнопористы-

ми, чтобы их поверхность была доступна для молекул сложных веществ. Они должны обладать небольшой удерживающей способностью при регенерации, а также легко смачиваться водой.

Процесс очистки сточных вод может осуществляться при интенсивном перемешивании адсорбента с водой, при фильтровании через неподвижный слой или в псевдоожиженном слое на сооружениях периодического или непрерывного действия. Основные схемы адсорбционного процесса очистки сточных вод приведены на рис. 18.19.

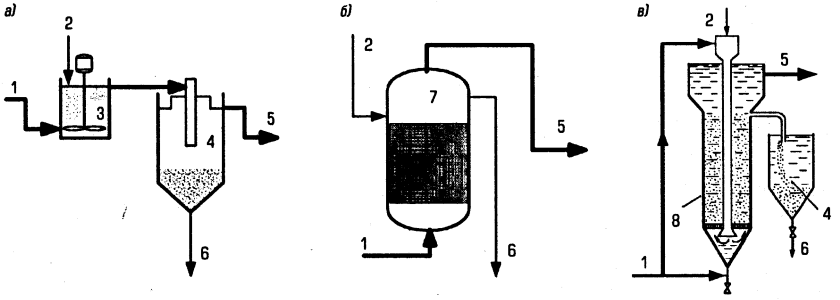


Рис. 18.19. Схемы адсорбционных установок:
а — схема статической сорбции; *б* — схема динамической сорбции; *в* — схема сорбции с использованием псевдоожиженного слоя; 1, 5 — подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 — подача свежего сорбента; 3 — контактный резервуар-смеситель; 4 — отстойник; 6 — выпуск отработанного сорбента; 7 — адсорбционный фильтр; 8 — контактная колонна

Статическая сорбция может осуществляться по одно- и многоступенчатой схеме с последовательным или противоточным введением сорбента. Она применяется, когда сорбент очень дешев или является отходом производства.

Динамическая сорбция позволяет достигать высокой степени очистки воды на одной ступени. Для увеличения продолжительности рабочего периода применяют многоступенчатую схему с последовательной регенерацией угля по ступеням. Адсорбционные фильтры требуют предварительного удаления из воды взвешенных веществ. Это ограничивает область их применения.

Установки с псевдоожиженным слоем целесообразно применять при высоком содержании в сточных водах взвешенных веществ. Адсорбент, используемый в таких сооружениях, должен обладать достаточной стойкостью к истиранию, гидравлической однородностью.

18.4.6. Ионообменная очистка сточных вод

Ионный обмен — это процесс взаимодействия раствора с твердым веществом, обладающим способностью обменивать содержащиеся в нем ионы на другие, находящиеся в воде. Вещества, составляющие эту твердую фазу, носят название ионитов. Они практически нерастворимы в воде. Те из них, которые способны обменивать положительные ионы, называются *катионитами*, способные обменивать отрицательные ионы — *анионитами*. Первые обладают кислотными свойствами, вторые — основными.

Ионообменная очистка применяется для извлечения из сточных вод ионов металлов (цинка, меди, хрома, никеля, свинца, ртути, кадмия, ванадия, марганца и др.), а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений и радиоактивных веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды. Ионный обмен широко распространен при обессоливании в процессе водоподготовки.

Метод ионного обмена отличается относительно высокой стоимостью и усложняет эксплуатацию сооружений, поэтому целесообразность его применения должна быть подтверждена соответствующими технико-экономическими расчетами.

18.4.7. Очистка сточных вод кристаллизацией

Этот метод можно использовать для очистки производственных сточных вод со значительной концентрацией загрязнений, обладающих способностью образовывать кристаллы. Обычно проводят предварительный процесс — выпаривание сточной воды, чтобы создать повышенную концентрацию загрязнений, при которой возможна их кристаллизация. Для ускорения процесса кристаллизации загрязнений сточная вода охлаждается и перемешивается. Выпаривание и кристаллизация сточной воды осуществляются обычно в аппаратах-кристаллизаторах с выносной греющей камерой и в аппаратах погружного горения.

Вакуум-кристаллизационные установки получили широкое распространение в черной и цветной металлургии для выделения солей металлов.

18.4.8. Очистка сточных вод от летучих органических соединений и газов

Во многих отраслях производства технологические сточные воды наряду с твердыми и жидкими загрязнениями содержат вещества, легко переходящие в атмосферу, а также растворенные

газы. Очистка сточных вод от этих видов загрязнений достигается использованием процессов эвапорации, десорбции, дезодорации и дегазации.

Эвапорация — отгонка летучих веществ, загрязняющих сточную воду, водяным паром. Отгоняют либо в периодически действующем аппарате, либо в непрерывно действующих дистилляционных колоннах.

Схема эвапорационной установки для удаления из сточной воды летучих фенолов показана на рис. 18.20. Очистка производится в пароциркуляционных колоннах дефеноляции. Верхняя часть колонны является отпарной, а нижняя — поглотительной. Сточная вода через орошающее устройство подается в верхнюю часть колонны и стекает вниз по насадке навстречу пару. Происходит отгонка фенолов. Очищенная вода отводится, а смесь водяных паров и фенола (пароотгонная смесь) забирается вентилятором и подается в нижнюю часть колонны. На середине высоты происходит орошение насадки горячим раствором щелочи, которая поглощает из пара фенолы.

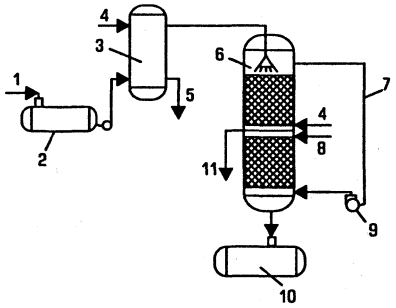


Рис. 18.20. Установка для удаления из воды летучих фенолов:
1 — подача фенолосодержащих сточных вод; 2 — сборник сточных вод;
3 — теплообменник; 4 — пар; 5 — конденсат; 6 — колонна дефеноляция;
7 — подача пароотгонной смеси; 8 — поглотительный раствор щелочи;
9 — вентилятор; 10 — сборник фенолятного раствора;
11 — выпуск очищенных сточных вод

Преимущество эвапорационной очистки сточных вод по сравнению с другими методами регенеративной очистки состоит в том, что в сточные воды не вводятся добавочные загрязнения в виде остающихся в воде реагентов.

Десорбция предназначена для очистки сточных вод, загрязненных летучими органическими и неорганическими примесями,

сероводородом, диоксидом серы, сероуглеродом, аммиаком, диоксидом углерода и др.

Десорбция летучих загрязнений сточных вод основана на пропускании через них воздуха или другого инертного и малорастворимого в воде газа, например азота, диоксида углерода, дымовых газов и др. При этом летучий компонент диффундирует из воды в газовую фазу. Десорбция обусловлена более высоким парциальным давлением газа над раствором, чем в окружающем воздухе.

Пример очистки сточных вод от хлорбензола десорбцией азотом приведен на рис. 18.21, *а*. Сточная вода, подвергающаяся очистке, кроме хлорбензола содержит метанол, ароматические амины, формальдегид и хлорид натрия. Колонна имеет четыре царги, в каждой из которых установлены три барботажные тарелки.

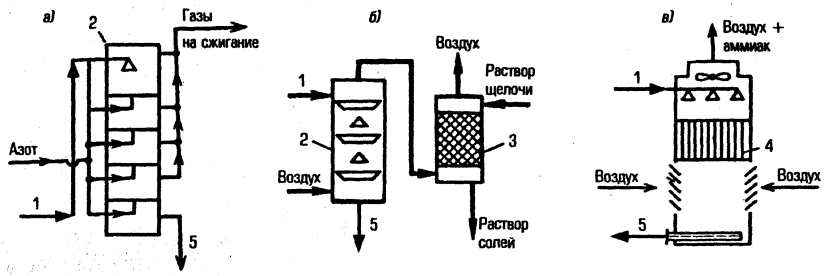


Рис. 18.21. Схемы установок для десорбции, дезодорации и отдувки летучих и газообразных загрязнений сточных вод:
а — установка для десорбции хлорбензола; *б* — установка для дезодорации; *в* — установка для отдувки аммиака;
1, 5 — подача сточных вод, отвод очищенной воды; 2 — тарельчатая колонна; 3 — насадочная колонна; 4 — хордовая насадка; 5 — отвод воды

Дезодорация сточных вод предназначена для устранения запахов, обусловленных наличием в их составе таких веществ, как меркаптаны, амины, аммиак, сероводород, альдегиды, углеводороды и др. Для очистки дурно пахнущих сточных вод применяют различные способы.

Наиболее эффективным считается метод аэрации, который заключается в продувании воздуха через сточную воду. Процесс проводят в аппаратах различной конструкции. Удаление дурно пахнущих веществ по схеме, приведенной на рис.18.22, *б*, проводят в тарельчатой колонне каскадного типа. Сточная вода растекается в виде пленок по тарелкам, на которых происходит ее контакт с

воздухом: Затем воздух с выделенными веществами поступает в насадочную колонну, которая орошается раствором щелочи.

Недостаток метода аэрации заключается в том, что часть загрязнений не удаляется методом аэрации и остается в сточной воде.

Дегазация предназначена для удаления из сточных вод растворенных газов. Присутствие в сточных водах растворенных газов затрудняет их повторное использование и очистку, усиливает коррозию трубопроводов и аппаратуры, придает воде неприятный запах.

Наибольшее распространение получили аэрационные методы дегазации как более простые и экономичные. Так, для удаления из воды диоксида углерода используют методы аэрации, проводимые в пленочных, насадочных, барботажных и вакуумных дегазаторах.

На рис. 18.22, *в* приведена схема дегазации сточных вод, содержащих аммиак, воздухом в градирнях с хордовой насадкой. При увеличении температуры воды и высоты насадки эффективность процесса возрастает. Недостатками дегазации сточных вод аэрацией являются невозможность проведения процесса при отрицательных температурах окружающего воздуха, большой расход прокачиваемого воздуха и загрязнение атмосферы отделенными газами.

18.4.9. Особенности биологической очистки производственных сточных вод

Принципиально о возможности и целесообразности биологической очистки производственных сточных вод судят по многим критериям, характеризующим их количество, режим притока, систему загрязнений, условия приема в системы водоотведения, возможность использования и пр.

При общей оценке системы загрязнений учитывают следующие аспекты:

- способность органических загрязнений сточных вод биохимически окисляться, что определяется по соотношению БПК и ХПК;
- концентрацию загрязняющих веществ;
- наличие в сточных водах необходимых для микроорганизмов питательных веществ (азота, фосфора, калия);
- наличие и концентрацию веществ, способных оказывать токсическое действие на микроорганизмы;

- активную реакцию сточных вод.

Многие виды производственных стоков только частично удовлетворяют всем перечисленным условиям биологической очистки и нуждаются в предварительной подготовке к ней.

Важным этапом подготовки производственных сточных вод любого вида к последующей их очистке является наиболее полное извлечение из них ценных примесей. Это позволяет не только собирать ценное сырье, но и понизить общую загрязненность сточных вод.

Для биологической очистки производственных сточных вод используют те же способы биологической очистки, что и для бытовых сточных вод. Производственные сточные воды по характеру загрязнений весьма разнообразны. Скорости окисления органических загрязнений зависят от состава сточных вод и обычно определяются экспериментально.

Для очистки производственных сточных вод могут быть применены все известные конструкции аэрационных сооружений. Выбор конструкции диктуется составом сточных вод и условиями проведения процесса.

Окситенки — сооружения биологической очистки, в которых вместо воздуха используется технический кислород или же воздух, обогащенный кислородом.

Существенным отличием окситенка от аэротенка, работающего на атмосферном воздухе, является возможность повысить в нем концентрацию ила в связи с увеличенным массообменом кислорода между газовой и жидкой фазами. Рекомендуемая концентрация ила в окситенке составляет 6–8 г/л, хотя принципиально сооружение может работать и при более высоких концентрациях. Экспериментально установлено, что при прочих равных условиях окислительная мощность окситенков в 5–10 раз выше, чем у аэротенков, эффективность использования кислорода составляет 90–95%.

Опыт применения биофильтров для очистки производственных сточных вод показал, что интенсивность деструкции трудноокисляемых органических веществ в биофильтрах в отдельных случаях даже выше, чем в аэротенках.

Биофильтры с плоскостной загрузкой успешно применены за рубежом для очистки сточных вод ряда производств. Отечественный опыт также подтвердил, что биофильтры с плоскостной загрузкой имеют окислительную мощность, существенно большую, чем биофильтры с объемной загрузкой.

Основные направления интенсификации биологической очистки производственных сточных вод включают решения по повышению дозы аэробной биомассы и увеличению скорости метаболизма.

Одним из способов увеличения биомассы является применение инертных носителей прикрепленной микрофлоры и повышение эффективности илоотделения в емкостных биореакторах. К этому типу сооружений относятся фильтротенки и биотенки.

Другое направление — создание технологий очистки сточных вод с использованием специально адаптированных микробиологических систем, обеспечивающих лучшую динамику процесса окисления загрязнений. К этому направлению относятся технологические схемы с двухступенчатыми биоокислителями.

Двухступенчатая схема очистки сточных вод в аэротенках обеспечивает более устойчивую работу сооружений при колебании расходов сточных вод и концентрации загрязнений. В каждой ступени аэротенков развивается специфическая микрофлора, способная эффективно окислять поступающие в нее органические загрязнения. Обычно на первой ступени применяют аэротенки-смесители, а на второй — аэротенки-вытеснители.

Недостатком двухступенчатых схем является необходимость устройства промежуточных вторичных отстойников и распределительных систем. Однако этот недостаток компенсируется более высоким и устойчивым эффектом очистки сточных вод.

Сточные воды некоторых производств содержат очень большое количество органических загрязнений, а также трудноокисляемые загрязнения. Для очистки концентрированных сточных вод применяют биохимическую очистку в анаэробных условиях. Часто в технологические схемы очистки таких сточных вод включают сочетания аэробных и анаэробных биологических процессов. Такие схемы используются для очистки сточных вод некоторых предприятий пищевой и фармацевтической промышленности, фабрик первичной обработки шерсти (ПОШ) и ряда других.

Многие виды производственных сточных вод содержат недостаточное количество соединений фосфора, азота и калия, представляющих собой *биогенные* вещества, необходимые для нормального развития биоценозов сооружений. Достаточность биогенных элементов (азота и фосфора) в производственных и бытовых сточных водах определяется соотношением БПК : N : P = 100 : 5 : 1.

При недостатке биогенных элементов к производственным сточным водам добавляют бытовые, содержащие их в необходимом

количестве. Проводят искусственную подпитку биогенными элементами, добавляя растворы аммиачной селитры, суперфосфата, азотнокислого калия и других соединений. Биогенные растворы готовят и дозируют так же, как и на нейтрализационных установках.

Глава 19
ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Существующие очистные сооружения в основном не обеспечивают нормативные требования к сбросу очищенных сточных вод, поэтому требуется их доочистка. Чаще всего полная биологическая очистка дополняется сооружениями фильтрации очищенных сточных вод, глубокой биологической очисткой от биогенных элементов в биологических окислителях и биопрудах, физико-химическими методами доочистки или комбинацией этих методов. В особых случаях необходимая степень глубокой очистки достигается только при использовании сорбции на активированном угле. Все эти мероприятия направлены на получение минимальных допустимых концентраций органических соединений, азота, фосфора и других специфических компонентов (например, нефтепродуктов, СПАВ, эфирорастворимых веществ, тяжелых металлов и других компонентов). Глубокая очистка и доочистка сточных вод необходима перед использованием их в системах повторного и оборотного водоснабжения промышленных предприятий, в сельском хозяйстве. В зависимости от требуемой степени глубокой очистки капитальные вложения на строительство сооружений глубокой очистки увеличивают общие затраты на 30–100% и требуют привлечения дополнительных материалов: реагентов, ионообменных смол, активированного угля.

Глубина доочистки сточных вод, используемых в замкнутых системах водоснабжения предприятий, зависит от технологических требований к ее качественным показателям; и в некоторых случаях эти требования могут быть менее жесткие, чем к качеству очищенной воды перед сбросом в водоемы.

Рассматриваемые методы глубокой очистки сточных вод можно разделить:

1) на глубокую очистку сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ;

2) глубокую очистку сточных вод от биогенных элементов;

3) глубокую очистку сточных вод от отдельных компонентов;

4) удаление из очищенных сточных вод бактериальных загрязнений (дезинфекция или обеззараживание сточных вод);

5) насыщение сточных вод кислородом.

Сооружения доочистки сточных вод предназначены для удаления взвешенных веществ и органических загрязнений. Наиболее распространенными методами глубокой очистки биологически очищенных сточных вод являются процеживание и фильтрование.

19.1. ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Процеживание сточных вод. Для глубокой очистки сточных вод от взвешенных веществ широкое распространение получил метод процеживания сточных вод на микрофильтрах (рис. 19.1).

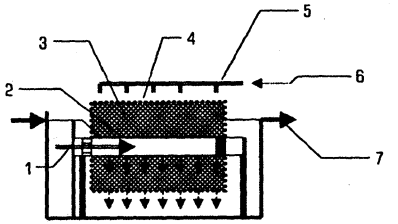


Рис. 19.1. Схема устройства микрофильтра:
1 — сточная вода на доочистку; 2 — впускная труба; 3 — барабан микрофильтра; 4 — сетчатые стенки; 5 — промывные трубы; 6 — промывная вода; 7 — очищенная сточная вода

Принцип работы микрофильтров заключается в следующем. Сточная вода из подводящего канала по впускной трубе поступает внутрь барабана микрофильтра, фильтруется через сетчатые стенки и поступает в резервуар, в котором расположен барабан фильтра, а затем из резервуара через водослив изливается в отводящий канал фильтрата. Хлопья активного ила, водоросли и другие плавающие загрязнения задерживаются на сетке с размерами отверстий 35 мкм. При вращении барабана сетка с прилипшими к ней загрязнениями поступает в зону действия промывных труб, промывается и вновь погружается в воду.

Фильтрация сточных вод. При фильтровании биологически очищенной сточной жидкости происходит снижение содержания взвешенных веществ путем изъятия частиц активного ила и накопления их в фильтрующей загрузке.

Этот процесс близок к тем процессам, которые характерны для фильтров систем водоснабжения. В зависимости от способа подачи сточной воды на фильтрацию различают фильтры с нисходящим потоком жидкости и фильтры с восходящим потоком (рис. 19.2 и 19.3).

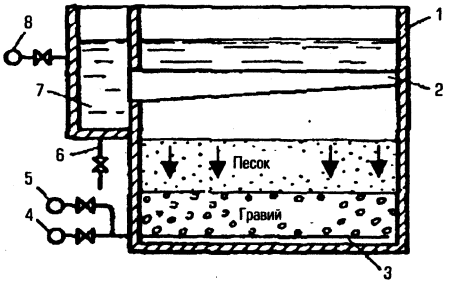


Рис. 19.2. Схема скорого фильтра с нисходящим потоком воды:
1 — корпус фильтра; 2 — желоба для распределения фильтруемой воды и для отвода промывной; 3 — дренажная система; 4 — отвод фильтрованной воды; 5 — подача промывной воды; 6 — отвод грязной промывной воды; 7 — распределительный карман; 8 — подача осветляемой воды

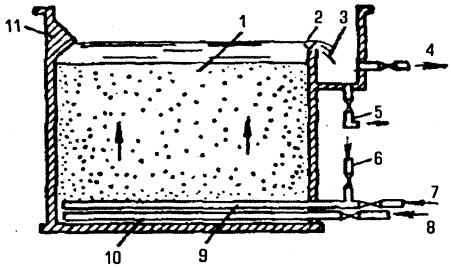


Рис. 19.3. Схема фильтра с восходящим потоком воды и водовоздушной промывкой:
1 — загрузка; 2 — пескоулавливающий желоб; 3 — карман; 4 — отвод фильтрованной воды; 5 — отвод промывной воды; 6 — подача воды на промывку; 7 — подача очищаемой воды; 8 — подача воздуха; 9 и 10 — распределительные системы для подачи соответственно воды и воздуха; 11 — струенаправляющий выступ

При ухудшении качества фильтрата или достижении предельной потери напора фильтр следует промыть; промывка подразделяется на текущую и профилактическую. В зависимости от применяемого сорбционного материала в фильтрах промывка может

быть водной или водовоздушной и зависит от концентрации взвешенных веществ в промывной воде и грязеемкости загрузки.

Промывка фильтров разделяется на текущую и профилактическую. Текущая промывка производится при предварительном сбросе воды по поверхности загрузки несколько раз в сутки. Профилактическая промывка производится один-два раза в неделю сразу после текущей. При промывке загрузка барботируется при подаче воздуха, а после этого промывается одной водой.

В качестве зернистого фильтрующего материала применяют кварцевый и керамзитовый песок, гранитный щебень, гранодиорит, шунгизит, гравий, горелые породы, металлургические шлаки, окатанный речной песок и др.

В последние годы в системах доочистки сточных вод широко применяют новые методы, которые сочетают в себе достоинства фильтров и предусматривают возможность биологической деструкции остаточных органических загрязнений после полной биологической очистки сточных вод с помощью прикрепленной биомассы. В практике очистки сточных вод эти сооружения получили наименование биореакторов очистки. На рис. 19.4 приведена одна из конструкций биореактора. Принцип работы биореакторов заключается в подаче биологически очищенной сточной воды; под загрузочным материалом установлена система аэрации, которая обеспечивает в резервуаре необходимую циркуляцию сточной воды; поток вовлекает поступающую сточную жидкость в циркуляцию и снабжает биомассу гидробионтов, прикрепляющуюся на загрузке, кислородом, активным илом из вторичных отстойников и растворенными в воде органическими веществами. При заиливании загрузочного материала его отмывают подачей воздуха через аэрационную систему. На период промывки биореактора подача очищаемой сточной жидкости на доочистку прекращается. Скорость фильтрации в биореакторах принимается в диапазоне от 5 до 7 м /ч при времени обработки сточных вод в 0,5–1 ч.

Для доочистки сточных в ФГУП НИИВодгео была разработана конструкция очистного сооружения, технология которой основана на совмещении в специальном сооружении — биосорбере процессов адсорбции органических загрязнений из воды с их биологическим окислением микроорганизмами, иммобилизованными на поверхности и в микропористой структуре пористого гранулированного носителя (рис. 19.5). В результате доочистки на биосорберах биологически очищенных сточных вод их $БПК_{полн}$ снижается до 1,5–3 мг/л, ХПК — на 40–60%, практически полностью

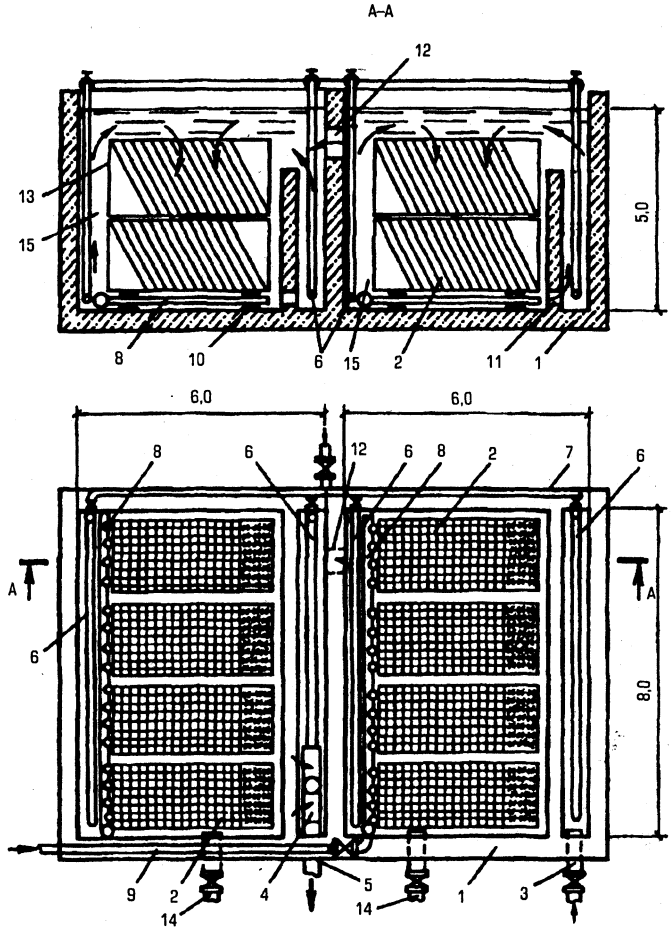


Рис. 19.4. Биореактор глубокой очистки:
1 — резервуар; 2 — загрузка из стеклоершей; 3 — трубопровод подачи сточных вод; 4 — сборный желоб; 5 — трубопровод отвода воды; 6 и 8 — аэрационная система; 7 и 9 — воздухопровод; 10 — опоры; 11 — окна; 12 — перепускное окно; 13 — стенка контейнера; 14 — трубопровод опорожнения; 15 — эрлифтная ниша

удаляются СПАВ и нефтепродукты, содержание взвешенных веществ не превышает 3 мг/л.

Переоборудование станций аэрации на технологию с биореакторами доочистки с одновременным повышением эффекта очистки сточных вод без строительства отдельных сооружений глубокой очистки позволяет сэкономить значительные средства.

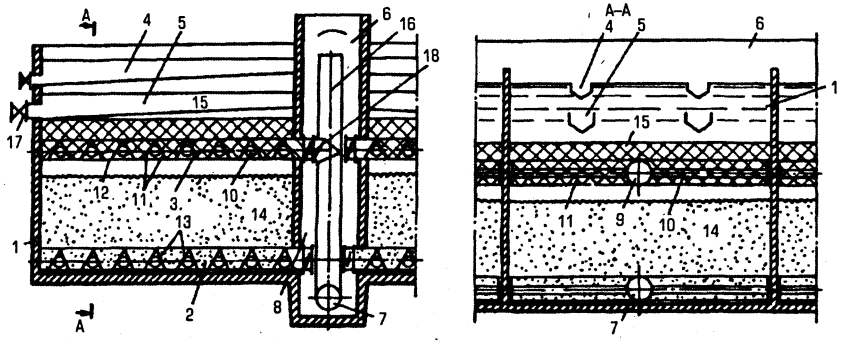


Рис. 19.5. Биосорбер:
1 — прямоугольный резервуар; 2 — водораспределительная система; 3 — водосборная система; 4 — лотки отвода очищенной воды; 5 — то же промывной воды; 6 — эрлифтный канал; 7 — всасывающий коллектор эрлифта; 8 — напорный канал эрлифта; 9 — центральный коллектор; 10 — боковой распределитель; 11 — наклонные щитки; 12 — регулируемые пластины; 13 — козырьки нижней дренажной системы; 14 — псевдоожиженный слой; 15 — плотный фильтрующий слой; 16 — эрлифт; 17 — клапан лотка отвода промывной воды; 18 — клапан коллектора среднего дренажа

19.2. ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В процессе очистки происходят трансформация и частичное (до 20–40%) изъятие аммонийного азота и фосфора. При этом в ходе очистки протекают процессы аммонификации и последующей нитрификации азота, а также гидролиз соединений фосфора. Соединения азота и фосфора, находящиеся в сточных водах, получили название биогенных элементов. Проблема удаления азот- и фосфорсодержащих соединений возникла в связи с ухудшением качества воды рек и водохранилищ, вызванным эвтрофикацией, которая обусловливается наличием избыточного количества питательных элементов в поверхностных слоях воды, что вызывает усиленный рост водорослей и макрофитов, мешает прохождению света в глубь водоема, потребляет растворенный кислород и приводит к созданию условий, несовместимых с жизнью теплокровных организмов.

Среди методов очистки сточных вод от соединений азота известны следующие: биологические, физико-химические, электрохимические, методы отдувки, ионного обмена.

Биологический метод удаления азота. Биологический метод очистки сточных вод от соединений азота основан на процессах нитрификации и денитрификации. Процесс нитрификации представляет собой совокупность реакций биологического окисления аммонийного азота до нитритов и далее до нитратов. В ходе денитрификации происходит окисление органических веществ при восстановлении азота нитратов до свободного азота.

Биологические процессы глубокой очистки сточных вод от соединений азота можно осуществить двумя способами: с использованием биомассы (активного ила), находящейся во взвешенном состоянии, и с использованием прикрепленной активной биомассы. В обоих способах могут применяться комбинированные и раздельные системы очистки. В комбинированных системах в одном сооружении предусматривается проведение нитрификации и денитрификации, а в раздельных — только нитрификации или денитрификации. В раздельных системах с использованием взвешенной культуры процессы очистки сточных вод от органических веществ, нитрификация и денитрификация осуществляются специфическими илами; после каждой ступени имеется свой вторичный отстойник. Более подробно системы биологического удаления азота рассмотрены в гл. 12.

Одним из возможных методов очистки сточных вод от азота является очистка в биологических прудах с массовым развитием водорослей. В результате жизнедеятельности зеленых водорослей в прудах осуществляется непосредственное потребление соединений азота из сточных вод, а также значительное снижение концентраций других остаточных загрязнений. Доочистка сточных вод достигается в трехсекционных аэрируемых биопрудах. В первых двух секциях происходит доочистка сточных вод за счет развивающихся водорослей, а в третьей возможно наращивание зоопланктонных организмов, утилизирующих водоросли.

Физико-химические методы удаления азота. *Хлорирование активным хлором.* При добавлении хлора к воде образуются хлорноватистая и соляная кислоты. Аммиак реагирует с хлорноватистой кислотой, образуя хлорамины. Прибавление активного хлора превращает хлорамины в закись азота — нерастворимый газ.

Метод обратного осмоса. Применение полупроницаемых мембран позволяет достигать эффекта очистки от азотсодержащих соединений до 98,5%, но процесс, основанный на свободном пропуске молекул растворителя при фильтровании сквозь мембрану

и задержке молекул или ионов растворенных веществ, требует тщательной предварительной очистки и умягчения воды.

Метод окисления озоном. Применение озонирования целесообразно лишь в случаях перехода аммонийного азота в нитратную форму. Аммиак полностью окисляется в нитрат, в результате устраняется расход кислорода на окисление азота в отходах. Эффективного удаления аммиака можно достигнуть только при поддержании щелочной среды.

Метод отдувки аммиака. Способ удаления аммиака основан на отдувке из раствора воздухом при pH = 11 в охладительной башне. Нагнетаемый воздух пропускают через загрузку для извлечения аммиака из капель воды. Простота этого процесса делает его наиболее дешевым методом денитрификации в тех случаях, когда предварительно удаляется фосфор путем обработки сточной воды известью.

Ионный метод. В отличие от процесса отгонки аммиака эффективность процесса ионообмена не зависит от температуры сточных вод, поступающих на очистку. Этот процесс заслуживает внимания в тех случаях, когда требуется обеспечить очень низкую концентрацию азота в воде после очистки. Чрезвычайно высокой избирательной способностью по отношению к иону аммония обладает клиноптилолит — естественный неорганический цеолитовый материал.

Электрохимический метод. Метод основан на электролизе морской воды с выделением на аноде Cl_2, в результате которого выделяющаяся гидроокись магния вступает в реакцию с содержащимися в сточных водах ионами фосфора и аммиаком с образованием нерастворимой комплексной соли. В качестве электродов для данного метода используются пластинчатый графит (анод) и нержавеющая сталь (катод). В большинстве случаев параллельно с очисткой сточных вод от соединений аммонийного азота происходит снижение концентрации соединений фосфора.

Методы удаления фосфора

Фосфаты удаляются химическими, физико-химическими и биологическими (за счет модификации биологического процесса включения фосфора в клеточное вещество) методами.

Физико-химические методы удаления фосфора. *Адсорбционный метод.* Фосфор поглощается поверхностью сорбента. Сорбент может быть приготовлен из гранулированной окиси алюминия, ак-

тивированной окиси алюминия и сульфата алюминия, гидратированных диоксидом титана и другими материалами, нанесенными на волокнистый материал.

В магнитном поле. При этом способе фосфаты связывают реагентом в нерастворимые соединения, после чего вводят магнитный материал и воздействуют магнитным полем, в результате чего выделяется фосфатсодержащий осадок.

Электрокоагуляционно-флотационной метод. При осуществлении этого метода используются алюминиевые и железные электроды.

Метод кристаллизации. Этот метод основан на выращивании кристаллов фосфатов в сточных водах на центрах кристаллизации с последующим их удалением из системы. Кристаллизация осуществляется на фильтрах или во взвешенном слое. В качестве затравочного материала предлагается использовать минералы, содержащие фосфат кальция, костяной уголь, шлак доменных печей и др.

Химические методы. При применении химических методов обработки сточных вод ионы реагента взаимодействуют с растворимыми солями ортофосфорной кислоты, вследствие чего происходит образование мелкодисперсного коллоидного осадка фосфата. В качестве реагентов используют соли двух- и трехвалентных металлов. В практике очистки сточных вод широко применяют такие коагулянты, как соли алюминия и железа, реже — известь.

Биологические методы удаления фосфора. На современном этапе большее распространение получают биологические методы удаления фосфора. При правильном проведении процесса возможно эффективное изъятие фосфатов из сточной жидкости. Однако в большинстве случаев не удается добиться стабильного удаления фосфатов из сточной жидкости до нормативных требований.

К настоящему времени в зарубежной практике разработан целый ряд технологий биологической очистки от фосфора: технология «*Phoredox*», «*Phostrip*», *A/O* (*Anaerobic-Oxic*), *EASC* (*Extended Anaerobic Sludge Contact process*), технология *MUCT*, приведенные на рис. 19.6–19.8

Основным методом биологического изъятия фосфора является метод с анаэробной обработкой возвратного рециркулирующего активного ила (см. рис. 19.6); применение такой технологии позволяет извлекать фосфаты с эффективностью ≈ 90%. В данной системе удаление фосфора происходит с избыточным илом и ило-

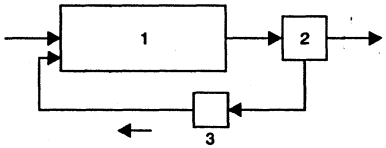


Рис. 19.6. Метод биологического изъятия фосфора:
1 — аэротенк; 2 — отстойник; 3 — сооружения для анаэробной обработки

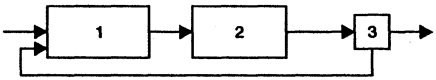


Рис. 19.7. Метод биологического изъятия фосфора *A/O* (*Anaerobic–Oxic*):
1 — анаэробная зона; 2 — аэробная зона; 3 — вторичный отстойник

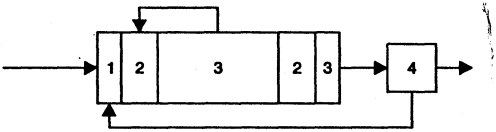


Рис. 19.8. Метод биологического изъятия фосфора *Phoredox*:
1 — анаэробная зона; 2 — аноксидная зона; 3 — аэробная зона;
4 — вторичный отстойник

вой водой, образующейся в сооружении для анаэробной обработки ила.

В технологии *A/O* (рис. 19.7) эффект изъятия соединений фосфора достигает ≈ 70%. При использовании такой схемы поочередной аэробной и анаэробной обработке подвергается смесь сточной жидкости и активного ила, а фосфор из системы выводится с избыточным илом. В технологии *Phoredox* (см. рис. 19.8) активный ил из вторичного отстойника направляется в анаэробную зону, а иловая смесь из аэробной зоны, как и в предыдущей схеме, возвращается в первую зону — анаэробную.

Глава 20
ОХРАНА ВОДОЕМОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Надежность и экологическая безопасность являются основными требованиями, которые предъявляются к современным системам водоотведения.

Исторически сложившееся размещение производственных комплексов в районах жилой застройки населенных мест не является оптимальным. Газовые, жидкие и твердые выбросы промышленных предприятий являются в данном случае составными компонентами жизненной среды человека со всеми негативными для него последствиями. Системы водоснабжения и водоотведения в таких агломерациях также являются совместными для жилой и промышленной зоны. В отдельных случаях, чаще всего на крупных предприятиях, имеется собственная система водного хозяйства с полным технологическим циклом от забора воды до ее очистки, обезвреживания и утилизации твердой фазы. Поэтому принято рассматривать два типа взаимосвязанных водохозяйственных объектов — населенный пункт с промышленностью и отдельно промпредприятие.

Водозаборные сооружения забирают природную воду из поверхностного водоисточника, а насосная станция первого подъема по напорным трубопроводам подает ее на очистные сооружения. Здесь вода очищается до питьевого качества и из резервуаров насосной станцией второго подъема подается в населенный пункт. Вода используется на питьевые, хозяйственные нужды, полив улиц и насаждений, на предприятиях местной промышленности. Сточные воды закрытой канализационной сетью отводятся за пределы города и главной канализационной насосной станцией подаются на городские очистные сооружения. Доочистка в естественных условиях (после прудов вода по своим качествам незначительно отличается от воды естественного водоема) может сбрасываться в реку, озеро или море. Вместо прудов доочистки могут быть специальные сооружения, о которых будет сказано ниже.

Атмосферные воды, которые отводятся дождевой сетью, проходят очистку от взвешенных веществ и нефтепродуктов на соору-

жениях, также сбрасываются в биологические пруды или непосредственно в приемник вод (водоем).

Промышленное предприятие потребляет питьевую и техническую воду. Техническая вода чаще всего применяется в водооборотных циклах; для целей охлаждения вода используется повторно после снижения температуры в охладителях. Современные схемы водопользования предусматривают возможность подачи на технические нужды промпредприятий очищенной сточной воды после доочистки и дезинфекции.

Сточные воды от промпредприятий, содержащие специфические загрязнения, а также дождевые и талые воды, с территории промплощадок могут сбрасываться в систему водоотведения населенного пункта и подвергаться биологической очистке совместно с городскими сточными водами после прохождения локальных очистных сооружений.

Системы водообеспечения промышленных предприятий в зависимости от водных и технологических процессов могут быть прямоточного, повторного (последовательного) и оборотного водоснабжения. Нет необходимости доказывать наибольшие экономические и экологические преимущества последней. При проектировании (или эксплуатации) систем водного хозяйства промпредприятий необходимым элементом является балансовая схема водопотребления и водоотведения, которая не только учитывает расходы вод на отдельные технологические операции (подпитку, продувку, безвозвратные потери и т.д.), но и характеризует материальный баланс по загрязняющим компонентам. Соответствующие расчеты выполняются по рекомендациям специальных нормативных материалов.

Весьма наглядной и указывающей на пути совершенствования системы водного хозяйства предприятия является балансовая схема в удельных расходах воды на единицу продукции и потребляемого сырья ($м^3/т$). Балансовые схемы расходования воды, сырья, загрязнений служат одним из исходных материалов при составлении экологических паспортов предприятий по ГОСТ 17.0.04-90 в разделе характеристики водопотребления, водоотведения и очистки вод, а также паспортизации всего водного хозяйства населенных пунктов. Водоотведение является составной частью экологии водного хозяйства, в ней рассматривается воздействие сточной воды на состояние водоемов с разработкой нагрузок, норм использования и способов, предотвращающих деградацию водоемов этими отходами. Под жидкими отходами человеческой деятельности в

данном случае понимаются все категории сточных вод, образующиеся в быту, обществе, промышленности, сельском хозяйстве, включая атмосферные.

Основанием для выдачи разрешений на сброс производственных сточных вод в систему канализации населенного пункта для действующих предприятий является паспорт водного хозяйства, представляющий один из разделов экологического паспорта предприятия.

Уточнение категорий водоемов или их участков производится органами санитарно-эпидемиологической службы и рыбохозяйственных организаций. Общие требования к составу и свойствам воды в водоемах и водотоках соответствующих категорий после выпуска в них сточных вод, подвергшихся необходимой очистке, приведены в табл. 20.1.

Таблица 20.1

Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования

№ п/п	Показатель	Категории водопользования	
		для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	*для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест*
1	*2*	*3*	*4*
1	Взвешенные вещества	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на:	
		0,25 мг/дм^3	0,75 мг/дм^3
		Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм^3 природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5%. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
2	Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	
3	Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике:	
		20 см	10 см
4	Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые:	

Окончание табл. 20.1

1	2	3	4
		непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	непосредственно
5	Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
6	Водородный показатель (pH)	Не должен выходить за пределы 6,5–8,5	
7	Минерализация воды	Не более 1000 мг/дм^3, в том числе: хлоридов — 350; сульфатов — 500 мг/дм^3	
8	Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/дм^3 в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня	
9	Биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$)	Не должно превышать при температуре 20 °С:	
		2 мг O_2/дм^3	4 мг O_2/дм^3
10	Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость), ХПК	Не должно превышать:	
		15 мг O_2/дм^3	30 мг O_2/дм^3
11	Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
12	Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	
13	Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглав, токсокар, фасциол), онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших	Не должны содержаться в 25 л воды	
14	Термотолерантные колиформные бактерии	Не более:	
		100КОЕ/100мл	100 КОЕ/100 мл
15	Общие колиформные бактерии	Не более:	
		1000 КОЕ/100 мл	500 КОЕ/100 мл
16	Колифаги	Не более:	
		10БОЕ/100 мл	10БОЕ/100 мл
17	Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии	$\sum(Ai/YBi) \leq 1$	

Условия спуска сточных вод в водоемы, изложенные в СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», распространяются на все объекты водоотведения независимо от их ведомственной принадлежности при обязательном согласовании с органами Государственного санитарного надзора и ры-

боохраны. Концентрации химических веществ в очищенной сточной воде должны соответствовать ГН 2.1.5.689-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водоотведение и очистка сточных вод — одна из основных дисциплин учебного плана подготовки по специальности «Водоснабжение и водоотведение» (СП 2912) в средних специальных учебных заведениях. В процессе изучения этой дисциплины будущие специалисты готовятся решать задачи отведения использованных и отработанных вод за пределы городов и промышленных предприятий, очистки, обезвреживания и выпуска их в водоемы, а также обработки образующихся при этом осадков.

При изучении дисциплины «Водоотведение» по данному учебнику студенты приобретают знания о современном состоянии водоотводящих систем и сооружений городов и населенных пунктов. Они знакомятся с возможностью применения различных методов очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, изучают технологические и компоновочные решения очистных сооружений. Полученные знания позволяют студенту оценить эффективность эксплуатации водоотводящих сетей, насосных станций, очистных сооружений, а также возможные способы модернизации и интенсификации работы систем и сооружений с целью повышения их пропускной способности и глубины очистки сточных вод.

Изучение дисциплины «Водоотведение» может быть обеспечено после изучения следующих дисциплин: гидравлика, материаловедение, технология конструкционных материалов, электротехника и электроника, безопасность жизнедеятельности, механика грунтов, геодезия, геология, автоматизация, строительные конструкции и материалы, технология строительного производства, химия воды и микробиология, гидрология и др. Учебник написан в полном соответствии с примерной программой дисциплины.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических умений изучение учебного курса должно сопровождаться лабораторными работами, практическими занятиями по теме, курсовыми работами и проектами.

Полученные в процессе обучения знания дадут возможность будущим специалистам использовать их для разработки мероприятий по водоотведению и очистке сточных вод, надежной эксплуатации систем и сооружений водоотведения. Конечной целью подготовки специалистов по дисциплине «Водоотведение» является умение принимать правильные решения для сохранения водных объектов от загрязнения и истощения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Аграноник Р.Я.** Технология обработки осадков сточных вод с применением центрифуг и ленточных фильтр-прессов. — М.: Стройиздат, 1985. — 144 с.
2. **Алферова Л.А., Нечаев А.П.** Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. — М.: Стройиздат, 1984. — 272 с.
3. **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.
4. **Водный** кодекс Российской Федерации. — М.: Ось-89, 1995. — 80 с.
5. **Водоснабжение** и водоотведение. Наружные сети и сооружения / Справочник под ред. Б.Н. Репина. — М.: Высшая школа, 1995. — 431 с.
6. **Воронов Ю.В. Саломеев В.П., Ивчатов А.Л.** Реконструкция и интенсификация работы канализационных сооружений. — М.: Стройиздат, 1989. — 224 с.
7. **Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л.** Примеры расчетов биологических фильтров и станций биофильтрации: Учеб. пособие для вузов. — М.: МИСИ, 1989. — 72 с.
8. **Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л.** Метантенки. — М.: Стройиздат, 1991. — 129 с.
9. **Инженерное** оборудование зданий и сооружений: Энциклопедия / Гл. ред. С.В. Яковлев. — М.: Стройиздат, 1994 — 512 с.
10. **Калицун В.И.** Гидравлический расчет водоотводящих сетей: Справочное пособие. — М.: Стройиздат, 1987. — 72 с.
11. **Канализация** населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. В.Н. Самохина. — 2-е изд. — М.: Стройиздат, 1981. — 639 с.
12. **Карелин В.Я., Минаев А.В.** Насосы и насосные станции: Учебник для вузов. — М.: Стройиздат, 1986. — 320 с.
13. **Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н.** Контроль качества воды. — 2-е изд. — М.: Стройиздат, 1986. — 158 с.
14. **Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И.** Примеры расчетов канализационных очистных сооружений: Учеб. пособие для вузов. — М.: Стройиздат, 1987. — 256 с.

15. **Ливчак И.Ф., Воронов Ю.В., Стрелков Е.В.** Охрана окружающей среды: Учебник для вузов. — М.: Колос, 1995. — 272 с.
16. **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. — 152 с.
17. **Лукиных Н.А., Липман Б.Л., Криштул В.П.** Методы доочистки сточных вод. — М.: Стройиздат, 1978. — 160 с.
18. **Луценко Г.Н., Цветкова А.И., Свердлов И.Ш.** Физико-химическая очистка городских сточных вод. — М.: Стройиздат, 1984. — 88 с.
19. **Москвитин Б.А., Мирончин Г.М., Москвитин А.С.** Оборудование водопроводно-канализационных сооружений. — М.: Стройиздат, 1984. — 192 с.
20. **Николаев А.Я.** Биологическая химия. — М.: Мед. информ. агентство, 1998. — 494 с.
21. **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.
22. **Орлов В.А., Харькин В.А.** Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. — М.: Стройиздат, 2001. — 96 с.
23. **Пальгунов П.П., Сумароков М.В.** Утилизация промышленных отходов. — М.: Стройиздат, 1990. — 348 с.
24. **Гордеев М.А., Попкович Г.С.** Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. — М.: Стройиздат, 1986 — 392 с.
25. **Правила** охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами. Утверждено 21.01.91. Гос. ком. по охране природы СССР. — М., 1991. — 34 с.
26. **Проектирование** пластмассовых трубопроводов: Справ. материалы / Под. ред. В.С. Ромейко. — М.: ВНИИМП, 2001. — 134 с.
27. **Проектирование** сооружений для очистки сточных вод: Справ. пособие к СНиП 2.04.03-85. — М.: Стройиздат, 1990. — 192 с.
28. **Промышленная** микробиология / Под ред. Н.С. Егорова. — М.: Высшая школа, 1989. — 687 с.
29. **Разумовский Э.С., Медриш Г.Л., Казарян В.А.** Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. — М.: Стройиздат, 1986. — 176 с.
30. **Родзиллер И.Д.** Прогноз качества водоемов приемников сточных вод. — М.: Стройиздат, 1984. — 261 с.

31. **Синельников В.Е.** Механизм самоочищения водоемов. — М.: Стройиздат, 1980. — 111 с.
32. **Смирнов А.Д.** Сорбционная очистка воды. — Л.: Химия, 1982. — 168 с.
33. **СНиП 2.04.03-85.** Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения. — М.: ЦИТП, 1986. — 72 с.
34. **Соколов Л.И.** Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий. — М.: АСВ, 1997. — 256 с.
35. **Технические** записки по проблемам воды: Пер. с англ. В 2-х т. / Под ред. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой. — М.: Стройиздат, 1983. — 607 с.
36. **Трубы** и детали трубопроводов из полимерных материалов: Справочные материалы / Под ред. В.С. Ромейко. — М.: ВНИИМП, 2001. — 126 с.
37. **Туровский И.С.** Обработка осадков сточных вод. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1988. — 256 с.
38. **Федоров Н.Ф., Курганов А.М., Алексеев М.И.** Канализационные сети. Примеры расчетов: Учеб. пособие для вузов. — 3-е изд. — М.: Стройиздат, 1985. — 223 с.
39. **Храменков С.В., Загорский В.А. и др.** 100 лет канализации Москвы. — М.: Прима-Пресс, 1998. — 504 с.
40. **Храменков С.В., Примин О.Г., Орлов В.А.** Бестраншейные методы восстановления водопроводных и водоотводящих сетей. Учеб. пособие для вузов. — М.: ТИМР, 2000. — 179 с.
41. **Черкинский С.Н.** Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. — 5-е изд., перераб. — М.: Стройиздат, 1977. — 224 с.
42. **Чурбанова И.Н.** Микробиология. — М.: Высшая школа, 1987. — 241 с.
43. **Эль М.А., Эль Ю.Ф., Вебер И.Ф.** Наладка и эксплуатация очистных сооружений городской канализации. — М.: Стройиздат, 1977. — 232 с.
44. **Яковлев С.В., Волков Л.С., Воронов Ю.В., Волков В.Л.** Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод. — М.: Химия, 1999. — 448
45. **Яковлев С.В., Воронов Ю.В.** Биологические фильтры. — 2-е изд. — М.: Стройиздат, 1987. — 121 с.
46. **Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В.** Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учебник для вузов. — М.: Стройиздат, 1990. — 511 с.

47. **Яковлев С.В., Воронов Ю.В. и др.** Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов. — М.: АСВ, 2004. — 591 с.
48. **Яковлев С.В., Карюхина Т.А.** Биологические процессы в очистке сточных вод. — М.: Стройиздат, 1981. — 200 с.
49. **Яковлев С.В., Прозоров И.В., Иванов Е.Н., Губий Н.Г.** Рациональное использование водных ресурсов: Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 1991. — 400 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

РАЗДЕЛ I. СХЕМЫ И СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ 7

Глава 1. СХЕМЫ И СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ 7
1.1. Сточные воды и их характеристика 7
1.2. Общая схема и основные элементы водоотведения 10
1.3. Схемы водоотведения городов и промышленных предприятий 15
1.4. Системы водоотведения городов и промышленных предприятий и их технико-экономическая оценка 20
1.5. Использование водоотводящих сетей для удаления снега, жидких и измельченных отбросов 26

Глава 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ 28
2.1. Санитарно-технические нормативы проектирования водоотводящих сетей 28
2.2. Расчет и проектирование водоотводящих сетей 28
2.3. Методика определения расчетных расходов бытовых и производственных сточных вод 33

РАЗДЕЛ II. СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ ВОДООТВЕДЕНИЯ 40

Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ 40
3.1. Разбивка территории на бассейны водоотведения и принципы трассировки сети 40
3.2. Алгоритм построения продольного профиля водоотводящей сети (табл. 3.1) 40
3.3. Глубина заложения трубопроводов 43
3.4. Конструирование водоотводящих сетей 52

Глава 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ 57
4.1. Особенности движения жидкости в водоотводящих сетях 57
4.2. Формулы для гидравлического расчета самотечных трубопроводов 58
4.3. Формы поперечного сечения труб и каналов 60

4.4. Расчетные параметры потока бытовых и производственных сточных вод 62
4.5. Таблицы, графики и номограммы для расчета сетей водоотведения 65
4.6. Гидравлический расчет напорных трубопроводов 67
4.7. Особенности гидравлического расчета и конструирования производственных водоотводящих сетей 68

Глава 5. УСТРОЙСТВО ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ 71
5.1. Трубопроводы и коллекторы 71
5.2. Колодцы и камеры 76
5.3. Пересечение трубопроводов с реками, оврагами, железными и автомобильными дорогами 84
5.4. Методы прокладки и реконструкции водоотводящих сетей 88

Глава 6. ПЕРЕКАЧКА СТОЧНЫХ ВОД 94
6.1. Назначение и оборудование насосных станций 94
6.2. Расчет и проектирование насосных станций и напорных водоводов 96
6.3. Аварийно-регулирующие резервуары 102
6.4. Конструирование насосных станций 103

Глава 7. ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ (ВОДОСТОКИ) 109
7.1. Характеристика атмосферных осадков 109
7.2. Схемы водоотводящих сетей 114
7.3. Расчет и проектирование водостоков 116
7.4. Очистка дождевого стока 118
7.5. Особенности конструирования водостоков 122

РАЗДЕЛ III. ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 125

Глава 8. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД 125
8.1. Формирование состава сточных вод 125
8.2. Санитарно-химические показатели загрязнения сточных вод 128
8.3. Состав и свойства осадков сточных вод 133

Глава 9. ВОДОЕМ — ПРИЕМНИК СТОЧНЫХ ВОД 140
9.1. Условия сброса сточных вод в городскую водоотводящую сеть 142
9.2. Условия сброса сточных вод в водоем 143
9.3. Определение необходимой степени очистки сточных вод 145

Глава 10. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ 149
10.1. Разработка и обоснование технологических схем очистки сточных вод 151
10.2. Технологические схемы очистки сточных вод 151

Глава 11. СООРУЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 156
11.1. Решетки 156
11.2. Песколовки 164
11.3. Отстойники 174

Глава 12. СООРУЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД 188
12.1. Биохимические основы методов биологической очистки сточных вод методами аэрации 188
12.2. Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках 193
12.3. Конструкции аэротенков 199
12.4. Системы аэрации иловых смесей в аэротенках 209
12.5. Принципы расчета аэротенков и систем аэрации 214
12.6. Теоретические основы метода биофильтрации 219
12.7. Классификация биофильтров 222
12.8. Технологические схемы работы биофильтров 225
12.9. Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров 227
12.10. Системы вентиляции биофильтров 230
12.11. Расчет и проектирование биофильтров 231
12.12. Конструирование биофильтров 236
12.13. Комбинированные сооружения биологической очистки сточных вод 242
12.14. Основные направления интенсификации работы сооружений биологической очистки 246
12.15. Вторичные отстойники 250

Глава 13. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД 255
13.1. Область применения методов физико-химической очистки сточных вод 255
13.2. Очистка сточных вод флотацией 255
13.3. Очистка сточных вод коагулированием 258
13.4. Адсорбционная очистка сточных вод 261

Глава 14. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД И ВЫПУСК В ВОДОЕМ 267
14.1. Обеззараживание сточных вод 267
14.2. Насыщение очищенной сточной воды кислородом перед выпуском в водоем 280

Глава 15. ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД 283
15.1. Состав и свойства осадков сточных вод 283
15.2. Стабилизация осадков сточных вод и активного ила в анаэробных и аэробных условиях 285
15.3. Обезвоживание осадков сточных вод 293
15.4. Обеззараживание осадков сточных вод 304
15.5. Термическая сушка осадков сточных вод 309
15.6. Сжигание осадков сточных вод 314
15.7. Утилизация осадков городских сточных вод 317

Глава 16. ВОДООТВЕДЕНИЕ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ 319
16.1. Сооружения для очистки сточных вод в естественных условиях 319
16.2. Сооружения для очистки сточных вод в искусственных условиях 321

Глава 17. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД 334
17.1. Основные положения о проектно-изыскательских работах 334
17.2. Инженерные изыскания 337
17.3. Проектные работы 338
17.4. Проектирование очистных станций городских сточных вод 339
17.5. Сравнение и технико-экономическая оценка вариантов проектных решений 340
17.6. Общие компоновочные решения очистных сооружений 342
17.7. Примеры очистных сооружений крупнейших городов ... 346

Глава 18. ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД 355
18.1. Общие положения и направления очистки производственных сточных вод 355
18.2. Механическая очистка сточных вод 356
18.3. Химическая очистка производственных сточных вод ... 370

18.4. Процессы и сооружения физико-химической очистки сточных вод 375

Глава 19. ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД 390
19.1. Глубокая очистка сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ 391
19.2. Глубокая очистка сточных вод от биогенных элементов 395

Глава 20. ОХРАНА ВОДОЕМОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД 400

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 405

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 406

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Юрий Викторович Воронов,
Евгений Валерьевич Алексеев,
Валерий Петрович Саломеев,
Евгений Алексеевич Пугачёв

ВОДООТВЕДЕНИЕ

УЧЕБНИК

Оригинал-макет подготовлен
в Издательском Доме «ИНФРА-М»

ЛР № 070824 от 21.01.93 г.

Сдано в набор 15.03.2006. Подписано в печать 20.06.2006.
Формат 60×90/16. Бумага типографская. Гарнитура Newton.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 26,0. Уч.-изд. л. 23,14.
Тираж 3000 экз. Заказ № 3786.
Цена свободная.

Издательский Дом «ИНФРА-М».
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в.
Тел.: (495) 380-05-40, 380-05-43
Факс: (495) 363-92-12
E-mail: books@infra-m.ru
http://www.infra-m.ru

Отдел «Книга — почтой»:
(495) 363-42-60 (доб. 246, 247)

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ОАО "Тульская типография".
300600, г. Тула, пр. Ленина,109.