

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И СТРОИТЕЛЬСТВА
Кафедра «Инженерные сети и оборудование зданий»

ВОДООТВЕДЕНИЕ

**Учебник для студентов
высших учебных заведений
направления «Водоснабжение
и водоотведение»**

Бишкек 2019

УДК 628.2(075.8)

ББК 38.761 я73

В 62

Рецензенты:

К.Т. Абдылдабеков, канд. техн. наук, доцент

КГУСТА им. Н. Исанова,

К.И. Кенжетеев, канд. техн. наук, доцент ГИСС и ИП,

Б.С. Ордобаев, канд. техн. наук, проф. КРСУ

Составители:

И.А. Абдурасулов, К.Т. Баканов, С.Т. Иманбеков

Рекомендован к изданию Ученым советом
факультета архитектуры, дизайна и строительства
ГОУВПО КРСУ

В 62 ВОДООТВЕДЕНИЕ: учебник для ст. высш. уч. завед. напр. «Водоснабжение и водоотведение» / сост.: И.А. Абдурасулов, К.Т. Баканов, С.Т. Иманбеков. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2019. – 332 с.

ISBN 978-9967-19-672-8

Рассмотрены основные вопросы устройства и эксплуатации систем водоотведения населенных пунктов. Подробно изложены современные методы очистки сточных вод. Приведены основные формулы для расчета водоотводящих сетей и сооружений.

Проектирование и строительство сетей и сооружений водоотведения на территории Кыргызской Республики осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технических документов Российской Федерации, перечень которых утвержден в Каталоге нормативно-технических документов Кыргызской Республики, утвержденных приказом Государственного агентства архитектуры и строительства при Правительстве Кыргызской Республики от 30 декабря 2011 года № 135.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и водоотведение».

В 3309000000-19

УДК 628.2(075.8)

ББК 38.761 я73

ISBN 978-9967-19-672-8

© ГОУВПО КРСУ, 2019

Предисловие

Развитие жилищного и промышленного строительства обуславливает необходимость увеличения объема и темпов строительства водоотводящих систем. Для осуществления строительства и эксплуатации систем водоотведения должны быть подготовлены высококвалифицированные кадры.

Вопросам, связанным с охраной окружающей среды и, в частности, с удалением, транспортированием, очисткой, обезвреживанием и обеззараживанием сточных вод в Кыргызской Республике уделяется самое серьезное внимание. Специалисты, которые будут работать над решением всех этих вопросов, должны обладать глубокими знаниями в области ряда смежных наук.

Так, при изучении движения сточных вод по трубопроводам необходимо знание законов гидравлики; применение биологических и химических методов очистки сточных вод требует знакомства с микробиологией и химией. При проектировании и строительстве сооружений для транспортирования и очистки сточных вод нужна хорошая подготовка для обоснованного выбора эффективных строительных материалов и конструкций, для организации производства и планирования строительных работ, механизации и автоматизации работы водоотводящих сетей и сооружений, технико-экономических расчетов возможных вариантов и т. д.

Формирование инженеров такого широкого профиля обуславливает включение в учебный план специальности «Водоснабжение и водоотведение» необходимых дисциплин: гидравлика, насосы и насосные станции, химия и микробиология воды, электротехника, автоматизация, теплотехника, детали машин, гидрология, инженерная геология и гидрогеология, гидротехнические сооружения и др.

Настоящий учебник подразделяется на две основные части: водоотводящие сети и сооружения для очистки сточных вод.

Учебник охватывает все вопросы, входящие в курс «Водоотведение».

При подготовке учебника, в качестве базового материала был использован учебник для вузов С.В. Яковлева, Я.А. Карелина,

А.И. Жукова и С.К. Колобанова «Канализация» (изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 632 с). Учтены также новейшие литературные материалы, опыт строительных и эксплуатационных организаций, научно-исследовательских и проектных институтов стран СНГ.

ВВЕДЕНИЕ

Под водоотведением принято понимать комплекс санитарных мероприятий и инженерных сооружений, обеспечивающих своевременный сбор сточных вод, образующихся на территории населенных пунктов и промышленных предприятий, быстрое удаление (транспортирование) этих вод за пределы населенных пунктов, а также их очистку, обезвреживание и обеззараживание.

Основными загрязнениями сточных вод являются физиологические выделения людей и животных, отходы и отбросы, получающиеся при мытье продуктов питания, кухонной посуды, стирке белья, мытье помещений и поливке улиц, а также технологические потери, отходы и отбросы на промышленных предприятиях.

Бытовые и многие производственные сточные воды содержат значительные количества органических веществ, способных быстро гнить и служить питательной средой, для развития различных микроорганизмов, в том числе патогенных бактерий; некоторые производственные сточные воды содержат токсические примеси, оказывающие пагубное действие на людей, животных и рыб. Все это представляет серьезную угрозу для населения и требует немедленного удаления сточных вод за пределы жилой зоны и их очистки.

Наиболее простым и удовлетворяющим санитарным требованиям способом является удаление (отведение) сточных вод по трубопроводам за пределы населенных мест (сплавная система). Такой способ применяется с давних времен. При раскопках в Египте обнаружены каналы для сточных вод, построенные за 2500 лет до нашей эры. Аналогичные сооружения существовали еще раньше в Индии. В VI веке до н. э. в Риме был построен знаменитый канал «Клоака Максима», частично используемый в современной системе водоотведения города Рим. Эти сооружения требовали значительных затрат труда и материалов и обязательного подведения воды, т. е. устройства водопроводов, поэтому их сооружали лишь для дворцов, храмов, общественных купален и т. п.

При малой плотности населения (25÷50 чел/га) и отсутствии водопровода отбросы удаляли путем устройства выгребов или

вывозили их ассенизационным транспортом (вывозная система), частично отбросы использовали на приусадебных участках.

При слабо развитой промышленности сточные воды выпускались непосредственно в водоемы, на берегах которых обычно и строились предприятия, что облегчало снабжение чистой водой и сброс сточных вод. Загрязнение водоемов этими водами воспринималось как неизбежное зло, поскольку методы очистки сточных вод тогда не были разработаны.

В эпоху феодализма и последующий период развития капитализма возросшая плотность населения и развитие промышленности привели к ухудшению санитарного состояния городов, которые буквально утопали в нечистотах. Это сильно осложнило получение в городах чистой воды.

Широко распространившиеся инфекционные заболевания и участвовавшие эпидемии, опустошавшие Европу, привели к необходимости строительства водопровода, а затем и системы водоотведения. Статистические данные показали, что после устройства водоснабжения и системы водоотведения заболеваемость и смертность населения значительно уменьшились. Особенно сильно снизилось число кишечных заболеваний.

Одной из важнейших положительных сторон устройства системы водоотведения (при одновременной организации надлежащего водоснабжения) является значительное улучшение санитарных условий жизни населения, а также более эффективное использование городских земельных участков, так как при устройстве централизованного водоснабжения и системы водоотведения плотность населения и этажность застройки практически не ограничиваются.

Устройство систем водоотведения в населенных местах является крайне важным фактором градостроительства, позволяющим по-новому решать вопросы планировки и застройки городов.

Строительство в городах Европы и Америки систем водоотведения, обеспечивающей лишь отведение загрязненных сточных вод и выпуск их без очистки в водоемы, очень скоро привело к резкому загрязнению последних.

Последствия этого первой ощутила Англия как в связи со значительным развитием городов, так и вследствие маловодности

рек, не обеспечивающих необходимого разбавления сточных вод и самоочищения водоемов. Поэтому еще в 1861 г в Англии был издан закон об очистке и освобождении сточных вод перед выпуском в реки от фекальных масс и гниющих веществ. Это было первым шагом к постановке в законодательном порядке вопроса об очистке сточных вод. Затем, на основании работ специальных комиссий в 1870 и 1876 гг., были установлены нормы очистки сточных вод при выпуске их в реки в зависимости от степени разбавления.

После Великой Октябрьской социалистической революции в России вместе с ростом городов началось более быстрое строительство и систем водоотведения. Были построены очистные станции во многих городах и поселках: Сочи, Харькове, Кисловодске, Магнитогорске, Кунцево и др., а также ряд новых станций аэрации в Москве, в том числе крупнейшие станции – Курьяновская и Ново-Курьяновская с пропускной способностью около 2 млн м³/сут и Люберецкая пропускной способностью около 1,5 млн м³/сутки. В настоящее время пропускная способность очистных станций г. Москвы превышает 4 млн м³/сут и продолжает увеличиваться.

Для значительной части водоотводящих сетей и сооружений разработаны и применяются типовые проекты, что намного сокращает сроки и затраты труда на проектирование и обеспечивает применение наиболее совершенных методов производства работ и строительных конструкций. Возведено много сооружений для очистки отработанных производственных сточных вод от предприятий различных отраслей промышленности.

Водоемы нашей страны являются общенародным достоянием. Правительство принимает решительные и эффективные меры по сохранению их чистоты. Жогорку Кенешом Кыргызской Республики принят ряд законов в области водопользования. Эти важные законодательные акты призваны способствовать более эффективному, научно обоснованному использованию вод для нужд населения и народного хозяйства и охране их от загрязнения, засорения и истощения.

Для предотвращения загрязнений водоемов сточными водами в последние годы в нашей стране ведется интенсивное строительство очистных сооружений для городов и промышленных предприятий.

Для обслуживания непрерывно возрастающего городского населения при повышающихся нормах водопотребления и водоотведения потребуется значительно увеличить пропускную способность городских систем водоотведения. В связи с этим, в течение ближайших лет необходимо увеличить протяженность водоотводящих сетей и выполнить большой объем работ по строительству очистных сооружений, обеспечивающих высокую степень очистки сточных вод. В соответствии с суммарным количеством бытовых и производственных сточных вод должна быть увеличена пропускная способность очистных сооружений.

Правительством Кыргызской Республики поставлены грандиозные задачи по дальнейшему развитию промышленности и сельского хозяйства в нашей стране, а также по дальнейшему благоустройству городов и поселков.

С ростом водопотребления на промышленные и бытовые нужды возрастет абсолютное количество сточных вод. В связи с этим своевременное удаление и очистка их, обеспечивающие оздоровление водоемов, приобретают большое значение. Все это обязывает специалистов, работающих в области благоустройства, еще шире развернуть работы по совершенствованию существующих и разработке новых высокоэффективных методов очистки сточных вод, а также индустриальных методов строительства водоотводящих сетей и сооружений.

Вопросы использования очищенных сточных вод для орошения сельскохозяйственных земель и повторного использования этих вод на технологические нужды промышленных предприятий, а также использования содержащихся в сточных водах ценных примесей, в данном учебнике не рассматриваются.

1. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

1.1. Классификация сточных вод и систем водоотведения

1.1.1. Назначение водоотведения и классификация сточных вод

Система водоотведения является одним из видов инженерного оборудования и благоустройства населенных пунктов, жилых, общественных и производственных зданий, обеспечивающих необходимые санитарно-гигиенические условия и высокий уровень удобств для труда, быта и отдыха населения.

Под системой водоотведения понимается комплекс оборудования, сетей и сооружений, предназначенных для организованного приема и удаления по трубопроводам за пределы населенных пунктов или промышленных предприятий загрязненных сточных вод, а также для их очистки и обезвреживания перед утилизацией или сбросом в водоем.

Объектами системы водоотведения являются здания жилого, общественного, производственного, служебного и специального назначения, оборудованные внутренним водопроводом и системой водоотведения, а также вновь строящиеся, существующие и реконструируемые города, поселки городского типа, сельские и дачные поселки, курорты, промышленные предприятия, комбинаты и промышленные районы.

Внутренняя система водоотведения служит для приема сточных вод в местах их образования и для отведения за пределы здания в наружную водоотводящую сеть. Наружная система водоотведения предназначена для транспортирования сточных вод за пределы населенных пунктов или промышленных предприятий на очистные сооружения, которые служат для обезвреживания сточных вод, выпуска очищенных вод в водоем без нарушения его естественного состояния и обработки осадка в целях дальнейшей его утилизации.

Сточными называются воды, использованные на бытовые, производственные или другие нужды и загрязненные при этом дополнительными примесями, изменившими их первоначальный химический состав и физические свойства, а также воды, стекающие с территории населенных пунктов и промышленных предприятий в результате выпадения атмосферных осадков или поливки улиц.

В зависимости от происхождения, вида и качественной характеристики примесей сточные воды подразделяют на три основные категории:

- бытовые (хозяйственно-фекальные);
- производственные (промышленные);
- дождевые (атмосферные).

Также используется термин «**Городские сточные воды**» – это смесь бытовых сточных вод жилых и общественных зданий и промышленных предприятий, а также производственных сточных вод коммунально-бытового обслуживания, общественного питания, местной и пищевой промышленности.

К **бытовым сточным водам** относятся воды от кухонь, туалетных комнат, душевых, бань, прачечных, столовых, больниц, а также хозяйственные воды, образующиеся при мытье помещений. Они поступают как от жилых и общественных зданий, так и от бытовых помещений промышленных предприятий. По природе загрязнений они могут быть фекальные, загрязненные в основном физиологическими отбросами, и хозяйственные, загрязненные всякого рода хозяйственными отходами.

К **производственным сточным водам** относятся воды, использованные в технологическом процессе, не отвечающие более требованиям, которые предъявляются к их качеству, и подлежащие удалению с территории предприятий. Сюда относятся также воды, откачиваемые на поверхность земли при добыче полезных ископаемых (угля, нефти, руды и др.).

Дождевые воды образуются в результате выпадения атмосферных осадков. Их подразделяют на дождевые и талые, получающиеся от таяния льда и снега. Отличительной особенностью дождевого стока является его эпизодичность и резкая неравномерность.

Воды от мытья и поливки улиц, а также от фонтанов и дренажей по качественной характеристике загрязняющих примесей близки к дождевым водам и удаляются совместно с ними.

Объем сточных вод, отнесенный к единице времени, называют **расходом**, выражаемым в м³/сутки, м³/час, м³/сек (м³/с) л/сек (л/с).

Примечание. Максимальный расход бытовых вод с 1 га жилой застройки города, в зависимости от плотности населения, колеблется от 0,5 до 2 л/с или 10 000÷25 000 м³/год.

Для городов европейской части России расход дождевого стока в среднем один раз в году может достигать 100÷150 л/с с 1 га, а один раз в десять лет – 200÷300 л/с с 1 га. Вместе с тем суммарный за весь год дождевой сток с застроенных территорий не превышает 1500÷2000 м³ с 1 га.

Таким образом, в средних условиях европейской территории России за год дождевых вод стекает в 7÷15 раз меньше, чем бытовых, но максимальные секундные расходы дождевых вод в 50÷150 раз больше, чем расходы бытовых сточных вод.

Сточные воды загрязнены всевозможными примесями органического и минерального происхождения, которые могут находиться в них в виде раствора, коллоидов, суспензии и нерастворимых веществ. Степень загрязнения сточных вод оценивается **концентрацией**, т. е. массой примесей в единице объема в мг/л или г/м³.

Бытовые сточные воды кроме органических и минеральных примесей содержат биологические примеси, состоящие из бактерий, в том числе и болезнетворных, а поэтому они **потенциально опасны**.

Производственные сточные воды загрязнены в основном отходами и отбросами производства, представляющими определенную ценность.

В целях снижения степени загрязненности производственных сточных вод необходимо стремиться к улучшению технологических процессов на промышленных предприятиях, направленных на уменьшение количества отходов и отбросов, утилизацию их в процессе производства.

Количественный и качественный составы минеральных, органических и биологических примесей производственных сточ-

ных вод разнообразны и зависят от отрасли промышленности и технологического процесса.

В производственных сточных водах некоторых отраслей промышленности могут находиться ядовитые вещества (синильная кислота, фенол, мышьяк, анилин, сероуглерод, соли тяжелых металлов – меди, свинца, ртути, хрома), а также радиоактивные элементы.

В зависимости от количества содержащихся примесей **производственные сточные воды** подразделяют на **загрязненные** (грязные) и **незагрязненные**. Загрязненные сточные воды перед выпуском в водоем подвергают очистке (освобождают от примесей), незагрязненные выпускают в водоем без обработки или повторно используют в производстве.

Дождевые воды при выпадении насыщаются растворенными газами, атмосферной пылью, аэрозолями, а при стекании смывают с поверхности крыш, внутриквартальных территорий и проездов пыль, мусор, бензин, масла и другие загрязнения. Дождевые воды, содержащие преимущественно минеральные загрязнения, менее опасны в санитарном отношении, чем бытовые и загрязненные производственные сточные воды, и потому их сбрасывают в водоемы без очистки.

В атмосферные воды, стекающие с загрязненных территорий промышленных предприятий, иногда попадают примеси, специфические для данного производства, например химических и нефтеперерабатывающих заводов, кожевенных предприятий, мясокомбинатов, угольных складов и др. Такие воды следует подвергать очистке.

Практически при устройстве системы водоотведения в населенных пунктах и на промышленных предприятиях приходится рассчитывать на отвод смеси бытовых и производственных вод или смеси бытовых, производственных и дождевых вод. Состав этой смеси может быть весьма разнообразным и зависит от концентрации и характера загрязнений производственных сточных вод.

1.1.2. Системы водоотведения

Под системой водоотведения принято понимать совместное или раздельное отведение сточных вод трех категорий. В практи-

ке наиболее широкое распространение получили **общесплавная** и **раздельная** системы водоотведения.

Общесплавными называют системы водоотведения, при которых все сточные воды – бытовые, производственные и дождевые – сплавляются по одной общей сети труб и каналов за пределы городской территории на очистные сооружения.

Раздельными называют системы водоотведения, при которых дождевые и условно чистые производственные воды отводят по одной сети труб и каналов, а бытовые и загрязненные производственные сточные воды – по другой, одной или нескольким сетям.

Водоотводящую сеть, предназначенную для приема и отведения атмосферных вод, называют **дождевой** (ливневой) или **водостоком**. Если в дождевую водоотводящую сеть сбрасывают практически чистые незагрязненные производственные сточные воды, то ее называют **производственно-дождевой**.

Сеть, предназначенную для приема и отведения бытовых сточных вод, называют **бытовой**.

Производственной называют водоотводящую сеть промышленного предприятия, предназначенную для приема и отведения только загрязненных производственных сточных вод (при удалении их от предприятия); **производственно-бытовой** – сеть, предназначенную для приема и отведения совместно производственных и бытовых сточных вод. Совместное отведение бытовых и производственных сточных вод допускается только в тех случаях, когда это не нарушает работы сети и очистных сооружений бытовой системы водоотведения.

Раздельная система водоотведения может быть **полной** или **неполной**.

Полной раздельной называют систему, включающую две или несколько совершенно самостоятельных водоотводящих сетей, по которым отводят только дождевые или дождевые и условно-производственные сточные воды; сеть для отвода бытовых и части загрязненных производственных вод, допускаемых к спуску в бытовую водоотводящую сеть, по которой отводят загрязненные производственные воды, не допускаемые к совместному отведению с бытовыми.

Неполной раздельной называют систему водоотводящих сетей, предусматриваемую для отвода только наиболее загрязненных производственных и бытовых сточных вод; атмосферные воды при этой системе стекают в водные протоки по кюветам проездов, открытым лоткам, канавам и тальвегам.

Разновидностями общесплавной и раздельной систем являются **полураздельная** и **комбинированная** системы водоотведения.

Полураздельная система водоотведения состоит из тех же самостоятельных водоотводящих сетей, что и полная раздельная система, и одного главного (перехватывающего) коллектора, отводящего на очистные сооружения бытовые, производственные, талые сточные воды, воды от мытья улиц и часть наиболее загрязненных дождевых вод.

Комбинированные системы водоотведения появились в результате расширения городов, имеющих общесплавную систему водоотведения. Ввиду того, что в сухую погоду общесплавные коллекторы загружены не полностью, к ним присоединяли бытовую и производственную водоотводящие сети от районов новой застройки, а для атмосферных вод, которые уже не могли быть приняты в существующие общесплавные коллекторы, прокладывали самостоятельные дождевые водоотводящие сети с выпуском атмосферных вод в ближайшие водоемы без очистки. Таким образом, появилась комбинированная система водоотведения, при которой в одних районах города сохранилась общесплавная система, в других – полная раздельная, в третьих – неполная раздельная система.

2. СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

2.1. Водоотведение и его основные сооружения

Схемой водоотведения называют технически и экономически обоснованное проектное решение принятой системы водоотведения с учетом местных условий и перспектив развития объекта, который будут обеспечивать системой водоотведения.

Каждая система водоотведения может быть осуществлена различными техническими приемами при трассировке сетей и коллекторов, определении глубины их заложения, количества насосных станций, числа и расположения очистных сооружений и т. д.

Все водоотводящие сооружения любой системы и схемы водоотведения по своему назначению делятся на две основные группы.

К первой группе относят оборудование и сооружения, предназначенные для приема и транспортирования сточных вод:

- а) внутренние водоотводящие устройства;
- б) наружная водоотводящая сеть;
- в) насосные станции и напорные канализационные водоводы.

Ко второй группе относят:

- а) очистные станции, предназначенные для очистки, обезвреживания, обеззараживания сточных вод и для обработки осадка;
- б) выпуски очищенных вод в водоем.

Внутренние водоотводящие устройства в жилых и общественных зданиях состоят из приемников (санитарных приборов) – унитазов, писсуаров, раковин, умывальников, моек, трапов, ванн и пр., и из сети отводных труб, стояков, выпусков и дворовой сети. Санитарные приборы устанавливают в кухнях, туалетных и ваннных комнатах жилых, общественных и производственных зданий.

Сточные воды из приемников поступают в отводные трубы, а затем в стояки внутренней водоотводящей сети. Стояки прокладывают по стенам внутриотапливаемых помещений или в монтажных шахтах, блоках и санитарно-технических кабинках. Их выводят

через чердачное помещение выше крыши. Вследствие обогрева стояков в отапливаемых помещениях в них создается тяга воздуха, что обеспечивает вентиляцию внутренней и наружной водоотводящей сети. Верхнюю часть стояка называют вытяжной трубой, на конце ее устанавливают дефлектор (флюгарку).

Чтобы воздух и газы не проникали в помещение, между сетью и санитарными приборами предусматривают водяные затворы. В унитазах и трапах водяные затворы являются конструктивным элементом прибора, а под умывальниками, ваннами, мойками и раковинами устанавливают специальные фасонные части – сифоны. Одним сифоном можно обслужить несколько приборов. Вода в нем автоматически заменяется свежей после каждого сброса новой порции воды в санитарный прибор. Для осмотра и прочистки труб устанавливают ревизии и прочистки.

Сточные воды поступают по стояку через выпуск в дворовую или внутриквартальную водоотводящую сеть. В месте присоединения каждого выпуска к дворовой или внутриквартальной водоотводящей сети устраивают смотровой колодец, который предназначен для наблюдения за работой внутренней сети и для ее прочистки при засорении.

В производственных помещениях приемниками сточных вод служат воронки, трапы, открытые и закрытые лотки, располагаемые у производственных аппаратов и машин. Внутрицеховую водоотводящую сеть в производственных помещениях устраивают аналогично внутренней домашней сети из чугунных или пластмассовых труб в виде стояков, отводных труб и выпусков.

Наружной водоотводящей сетью называют уложенную с уклонами разветвленную подземную сеть труб и каналов, отводящую сточные воды самотеком к насосной станции, очистным сооружениям или в водоем.

В зависимости от назначения, места укладки и размеров наружные водоотводящие сети называют:

- дворовой (уложенной в пределах одного владения);
- внутриквартальной (уложенной внутри квартала);
- заводской (уложенной на территории промышленных предприятий);

- уличной (уложенной по улицам и проездам и принимающей сточные воды из дворовых, внутриквартальных и заводских сетей).

Для контроля за работой дворовой и внутриквартальной сети в конце их устраивают смотровой колодец, который называют **контрольным**. Участок водоотводящей сети, соединяющий контрольный колодец с уличной сетью, называют **соединительной веткой**.

Уличная сеть городов сильно разветвлена и охватывает обширные территории, с которых сточные воды отводятся преимущественно самотеком. Для этого всю территорию населенного места, которую будут обеспечивать системой водоотведения, делят на бассейны водоотведения.

Бассейном водоотведения называют часть территории, которую будут обеспечивать системой водоотведения, ограниченную водоразделами.

Участок водоотводящей сети, собирающий сточные воды из одного или нескольких бассейнов водоотведения, называют **коллектором**.

Коллекторы подразделяют на:

а) коллекторы бассейна водоотведения, собирающие сточные воды из канализационной сети одного бассейна;

б) главные коллекторы, собирающие сточные воды двух или нескольких коллекторов бассейнов водоотведения;

в) загородные (или отводные) коллекторы, отводящие сточные воды транзитом (без присоединений) за пределы объекта водоотведения к насосным станциям, очистным сооружениям или к месту выпуска в водоем.

Примечание. В крупных городах с сильно развитой городской сетью коллекторы больших размеров нередко называют **каналами**.

Водоотводящая сеть и коллекторы всегда должны быть доступны для осмотра, промывки и прочистки от засорений, для этого на них устраивают смотровые колодцы.

С реками, оврагами и железными дорогами коллекторы пересекаются с помощью дюкеров, переходов, эстакад. Коллекторы

прокладывают с уклоном по пониженной местности, по тальвегам рек и оврагов.

При необходимости подъема сточных вод на более высокие отметки устраивают канализационные насосные станции, которые перекачивают воду по напорным водоводам.

В зависимости от назначения канализационные насосные станции подразделяют на:

а) местные, предназначенные для перекачки сточных вод от одного или нескольких отдельных, неблагоприятно расположенных зданий или жилых кварталов;

б) районные, предназначенные для перекачки сточных вод от отдельных районов или бассейнов водоотведения;

в) главные, перекачивающие основную часть или все количество сточных вод от населенного пункта или промышленного предприятия.

Если на схеме водоотведения населенного пункта, имеющего промышленное предприятие, из бассейна водоотведения, расположенного на пониженных отметках, не представляется возможным отводить сточные воды самотеком в главный коллектор, то в наиболее пониженной точке этого бассейна устраивается районная насосная станция, которая перекачивает сточные воды по напорному трубопроводу в верховье ближайшего самотечного главного коллектора.

Очистные станции предназначены для очистки сточных вод и обработки осадков; они komponуются из комплексов очистных и вспомогательных сооружений, связанных между собой инженерными коммуникациями в единую технологическую схему.

Комплексы очистных сооружений выбирают в зависимости от концентрации, качественной и количественной характеристики загрязняющих примесей, а также от требований, предъявляемых к очищенным водам по местным условиям.

Канал, отводящий очищенные сточные воды от очистных станций в водоем и снабженный устройством для перемешивания этих вод с водой водоема, называют **выпуском**.

На коллекторах перед насосной и очистной станцией также устраивают выпуски для сброса сточных вод в водоем без очистки в случае аварии. Эти выпуски называют **аварийными**.

При составлении схемы общесплавной системы водоотведения на главном коллекторе предусматривают устройство ливне-спусков для частичного сброса в водоем во время больших ливней сильно разбавленной смеси бытовых и дождевых вод.

Это позволяет уменьшить размеры главного коллектора и очистных сооружений, а следовательно, и стоимость строительства общесплавной системы водоотведения.

2.2. Схемы водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий

Схемы водоотводящей сети городов, населенных пунктов или промышленных предприятий зависят от рельефа местности, грунтовых условий, места расположения очистных станций, концентрации и разновидностей загрязнений сточных вод, а также планировочных факторов и других условий (наземных и подземных препятствий и др.).

Ввиду большого разнообразия местных условий трудно дать какие-либо типовые схемы водоотводящей сети. В качестве приближенной классификации можно указать на схемы, приведенные ниже.

В первоначальный период строительства сетей и сооружений водоотведения, когда сточных вод было мало и к их очистке не предъявлялось строгих требований, коллекторы бассейнов водоотведения трассировались по наикратчайшему направлению перпендикулярно водоему, если этому не препятствовал рельеф местности.

Такую схему водоотводящей сети называли **перпендикулярной**.

В настоящее время эту схему применяют в местностях с хорошо выраженным уклоном к водоему для отведения атмосферных и незагрязненных производственных сточных вод.

Если коллекторы отдельных бассейнов перпендикулярной схемы перехватывают главным коллектором, прокладываемым параллельно водоему, то такую схему канализационной сети называют **пересеченной**.

Пересеченную схему рекомендуется применять в местностях с хорошо выраженным уклоном к реке для отведения всех трех категорий сточных вод.

Территорию, состоящую из нескольких отдельных террас со значительной разностью отметок, можно разбить на зоны (пояса), обеспечивающие сетями водоотведения самостоятельно. Такую схему водоотводящей сети называют **поясной** или **зонной**.

Сточные воды верхней зоны могут самотеком поступать на очистные станции, и только сточные воды нижней зоны перекачивают непосредственно на очистные станции или в коллектор верхней зоны, что уменьшает эксплуатационные расходы. Схему водоотводящей сети, называют **радиальной** или **децентрализованной**, если такая схема имеет несколько очистных станций, на которые сточная вода подается в радиальном направлении отдельными насосными станциями.

Схемы водоотводящей сети промышленных предприятий аналогичны схемам водоотводящей сети населенных пунктов. Однако при разнообразном составе производственных сточных вод и различной степени их загрязненности может оказаться целесообразным устройство на территории промышленного предприятия нескольких самостоятельных водоотводящих сетей.

Например, одна из возможных схем – водоотводящая сеть промышленного предприятия с жилым поселком. Здесь может быть выполнена полная раздельная система водоотведения с тремя совершенно самостоятельными водоотводящими сетями и двумя очистными станциями.

Производственно-бытовая сеть принимает все бытовые и загрязненные производственные сточные воды от поселка и предприятия. Воды этой сети перед выпуском в водоем подвергают очистке на общей очистной станции. Производственно-дождевая сеть принимает атмосферные воды с территории предприятия и поселка через дождеприемники, а также незагрязненные воды из цехов и сбрасывает их непосредственно в водоем без очистки. Для загрязненных производственных сточных вод устроена самостоятельная сеть и местная очистная станция. Очищенные воды можно повторно использовать в производстве либо сбросить

в производственно-дождевую сеть, а если очистка на местных очистных сооружениях недостаточна, то передать в производственно-бытовую сеть для доочистки совместно с бытовыми сточными водами. Очищенные воды сбрасываются в водоем через выпуск.

Схемы водоотведения городов и промышленных комплексов могут быть централизованными, децентрализованными и районными (региональными).

При **централизованной схеме** сточные воды всех бассейнов водоотведения направляют по одному или нескольким коллекторам на единственную для всего города очистную станцию, расположенную ниже города, по течению реки.

Децентрализованные схемы водоотводящей сети применяют при обеспечении системами водоотведения крупных городов в условиях как сильно пересеченного, так и очень плоского рельефа местности. В этом случае устраивают районную систему водоотведения с самостоятельными очистными сооружениями. По децентрализованной схеме построены системы водоотведения городов Москва, Ленинград, Новосибирск, Берлин, Лондон, Токио, Нью-Йорк и других городов мира.

2.3. Районные (региональные) схемы водоотведения

Для нескольких близко расположенных населенных пунктов и предприятий в промышленных и густонаселенных районах страны применяют районные (региональные) схемы водоотведения. В этих схемах предусматривается одна очистная станция большой мощности вместо большого числа маломощных очистных сооружений, обслуживающих отдельные объекты. Это дает возможность снизить капитальные и эксплуатационные затраты на очистку сточных вод, надежно защитить открытые водоемы от загрязнения в пределах густонаселенной части района и рационально использовать его водные ресурсы. Практика показала, что эффективность совместной очистки смеси бытовых и производственных сточных вод, а также надежность контроля на крупных

районных очистных станциях значительно выше, чем на отдельных мелких сооружениях.

В частности, это районная схема водоотведения одного из районов Подмосковья для ряда населенных пунктов и промышленных предприятий с единой районной очистной станцией пропускной способностью 200 000 м³/сут. Эта схема имеет 10 насосных станций, около 400 км сети, 58,2 км магистральных напорных и самотечных коллекторов диаметром 400÷1100 мм. Осуществление этой схемы позволило ликвидировать 22 маломощные станции и оздоровить пригородную местность в бассейне рек Клязьма и Уча.

Сооружение другой аналогичной районной системы водоотведения Подмосковья позволило оздоровить пригородную зону в бассейне реки Пахорки на всем ее протяжении (около 40 км). Были ликвидированы многочисленные малые очистные сооружения, а сточные воды нескольких городов, поселков и ряда промышленных предприятий стали подаваться на Люберецкую станцию аэрации (г. Москва).

Сооружение районных систем водоотведения с ликвидацией мелких очистных сооружений отдельных пригородных населенных пунктов применяется и в зарубежной практике. Так, например, системы очистных станций Мейпл-Лодж и Могден (Англия) обслуживают соответственно 383 000 и 1,5 млн жителей и заменили 26 и 28 локальных очистных станций. Примером решения районной промышленной системы водоотведения является район Касима в префектуре Ибараги (Япония). На территории 3,3 тыс. га, отвоеванной у моря, размещено 39 предприятий, и все они обслуживаются единой районной системой водоотведения с одной очистной станцией, на которой предусмотрено повторное использование очищенных сточных вод в техническом водоснабжении. Районные системы водоотведения промышленных комплексов встречаются и в других странах.

3. ВЫБОР СИСТЕМЫ И РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

3.1. Сравнительная оценка систем водоотведения

Общесплавная система водоотведения экономична при многоэтажной застройке, так как протяженность ее внутриквартальной и уличной сетей на 30÷40 % меньше протяженности двух самостоятельных сетей полной раздельной системы водоотведения. Затраты на ее эксплуатацию на 15÷25 % меньше, чем на две сети полной раздельной системы.

В санитарном отношении общесплавная система водоотведения была бы наиболее благоприятной, если бы на главных и отводных коллекторах не устраивались ливнепуски для сброса во время дождя смеси загрязненных и дождевых вод в открытые водоемы в пределах города. Делается это с целью уменьшения сечений главных коллекторов и напорных трубопроводов, уменьшения мощности насосных и очистных станций, снижения сравнительно высоких первоначальных строительных затрат. Это допускается по тем соображениям, что во время ливней количество дождевых вод во много раз превышает количество бытовых и производственных сточных вод, а концентрация загрязнений в смеси вод становится значительно меньше, чем в бытовых сточных водах. Количество загрязнений в годовом стоке дождевых вод равно примерно 10÷12-суточному загрязнению бытовых вод с 1 га городской территории.

Считается, что разбавленная смесь бытовых и дождевых вод в этом случае представляет относительно небольшую опасность для загрязнения водоема, так как такой сброс наблюдается обычно периодически при сильных ливнях в течение небольшого времени (около 100 часов в год).

Следует учесть, что при малоэтажной и рассредоточенной застройке общесплавные системы водоотведения имеют ряд технических недостатков. В сухую погоду, когда в сеть поступают только бытовые воды, скорость протока их оказывается недостаточной, что вызывает усиленное выпадение осадка и его загнива-

ние. Во время сильных ливней сеть может переполняться, поэтому при возникновении в ней подпора воды могут быть затоплены подвалы зданий, особенно в пониженных районах городской территории.

Реальная опасность затопления подвалов водой через общесплавную водоотводящую сеть существует и в период паводков для районов города, расположенных ниже горизонта паводковых вод. Предохранительные приспособления от затопления подвалов на практике себя не оправдывают. Значительно усложняется эксплуатация насосных и очистных сооружений вследствие неравномерного притока дождевых вод.

Раздельная система водоотведения свободна от указанных недостатков. Достоинством полной раздельной системы является равномерная работа главных коллекторов, насосных станций, напорных трубопроводов и очистных сооружений, рассчитанных только на расход бытовых и производственных сточных вод.

Недостатками полной раздельной системы водоотведения являются:

- необходимость строительства двух раздельных сетей (производственно-бытовой и дождевой);
- сброс всех поливочных вод при мытье и поливке улиц и дождевых вод, в том числе и их первой наиболее загрязненной порции, без очистки в водоем.

Примечание: по данным исследований, промывные воды и первые порции дождевых вод (особенно при редко выпадающих дождях) имеют концентрацию загрязнений, близкую к концентрации бытовых стоков.

С санитарно-гигиенической точки зрения общесплавную и полную раздельную системы водоотведения считают равноценными. При той и другой системе в водоем поступает некоторое количество загрязнений во время дождя. Кратковременный сброс этих загрязнений в крупные проточные водоемы санитарными нормами допустим, и предполагается, что они не приводят к серьезным загрязнениям водоемов.

Полураздельная система водоотведения по санитарным показателям является наилучшей по сравнению с общесплавной

и раздельной системой. При этой системе во время дождя в водоем поступает минимальное количество загрязнений.

Количество дождевых вод, сбрасываемых в водоемы без очистки, колеблется от 3,4 до 23,4 % с содержанием взвешенных веществ от 3,7 до 11,5 % при биохимической потребности в кислороде (БПК₅) от 5,8 до 16,5 % от загрязнений в общем дождевом стоке с территории объекта водоотведения.

Однако эта система не находила применения из-за высоких первоначальных капиталовложений на одновременное строительство двух сетей с перехватывающим коллектором. В связи с повышенными требованиями к охране водоемов и с необходимостью очистки поверхностного стока с территории крупных городов, расположенных на маломощных водоемах, эта система стала применяться при реконструкции существующих систем водоотведения путем закладки коллекторов глубокого заложения.

Комбинированная система водоотведения по санитарным и технико-экономическим показателям занимает среднее положение между общесплавной и полной раздельной системами водоотведения.

Большинство систем водоотведения в СНГ построено по раздельной системе, причем в малых городах – по неполной раздельной системе.

Неполная раздельная система при сравнительно небольших капитальных вложениях и материальных затратах дает возможность отводить из города в первую очередь наиболее загрязненные и опасные в санитарном отношении бытовые сточные воды и очищать их перед выпуском в водоем.

Менее загрязненные атмосферные и поливочные воды отводят открытыми каналами и лотками.

По мере развития города и благоустройства проездов предусматривают возможность устройства закрытой дождевой сети, что создает условия для перехода от неполной раздельной системы водоотведения к полной. Таким образом, при минимальных материальных и трудовых затратах решают первоочередные санитарные и хозяйственные задачи с возможно более выгодным распределением капитальных вложений по времени и очередности строительства.

3.2. Выбор системы водоотведения

Систему и схему водоотведения выбирают как комплекс инженерных сооружений для надежного и длительного обслуживания жилых, производственных и сельскохозяйственных объектов с учетом принятой системы водоснабжения, рационального использования водных ресурсов, санитарно-гигиенических и технико-экономических требований.

При выборе системы водоотведения населенных пунктов в первую очередь необходимо установить схему отведения и определить места выпуска дождевых вод. Выпуск дождевых вод при выборе любой системы водоотведения не допускается в поверхностные водотоки, протекающие в пределах населенных мест при скоростях течения в них меньше 0,05 м/с и расходах до 1 м³/с; в водоемы в местах, отведенных для пляжей, в непроточные водоемы, в пруды, озера, в рыбные пруды (без специального согласования), в замкнутые лощины и низины, подверженные заболачиванию, в размываемые овраги, если не предусмотрено укрепление их русла и берегов.

Выпуск дождевых вод в заболоченные поймы не рекомендуется.

При выборе системы и схемы водоотведения руководствуются следующими рекомендациями.

Полную раздельную систему водоотведения следует принимать для крупных и благоустроенных городов и промышленных предприятий:

а) при возможности сброса всех дождевых вод в поверхностные водные протоки;

б) при необходимости по условиям рельефа местности устройства более трех районных насосных станций;

в) при расчетной интенсивности дождя продолжительностью 20 мин более 80 л/с на 1 га при необходимости полной биологической очистки сточных вод.

Неполную раздельную систему водоотведения целесообразно устраивать в городах и поселках городского и сельского типов, где применение такой системы совместимо с общим уров-

нем благоустройства, или допускать ее как первую очередь строительства раздельной системы водоотведения.

Полураздельную систему водоотведения целесообразно принимать:

- а) для городов с числом жителей более 50 тыс. человек;
- б) при маловодных или непроточных внутригородских водоемах и водных протоках;
- в) для районов акваторий, используемых для купания и водного спорта;
- г) при повышенных требованиях к защите водоемов от загрязнения дождевыми и талыми водами.

Общесплавную систему водоотведения применяют для городов с многоэтажной застройкой:

- а) при наличии на территории водоотведения или вблизи нее мощных водных протоков, допускающих прием дождевых и поливочных вод;
- б) при ограниченном количестве районных насосных станций с небольшой высотой подъема сточных вод;
- в) при расчетной интенсивности дождя продолжительностью 20 мин менее 80 л/с на 1 га.

Комбинированная система объединяет элементы общесплавной и полной раздельной систем водоотведения. Ее целесообразно применять при реконструкции и расширении системы водоотведения в крупных городах (с населением более 100 тыс. человек), отдельные районы которых отличаются между собой характером застройки, степенью благоустройства, рельефом и другими местными условиями. Комбинированные системы в зарубежных странах составляют 33÷34 % от всех систем. Большинство крупных городов мира обеспечено системами водоотведения по общесплавной или по комбинированной системе.

Водоотведение промышленных предприятий следует осуществлять, как правило, по полной раздельной системе. В системе дождевого водоотведения предусматривают возможность отведения наиболее загрязненной части дождевых и талых вод на очистку. На территориях промышленных предприятий могут предусматриваться сети бытовой, производственной (загрязненных вод), дождевой и производственно-дождевой (незагрязнен-

ных производственных вод) системы водоотведения, а также специальные производственные сети для отведения кислых, щелочных, шламовых и других сточных вод.

Схемы водоотведения разрабатывают для любой принятой системы с учетом местных условий и перспектив народнохозяйственного развития данного объекта или района с целью достижения наиболее эффективных и комплексных решений. При этом необходимо учитывать существующие сооружения водоотведения и возможность их использования.

Районные (региональные) схемы водоотведения промышленных и густонаселенных районов разрабатывают на основании проектов районной планировки административных и промышленных узлов, схем, генеральных планов, проектов планировки и застройки населенных мест и промышленных районов в интересах рационального использования и охраны водных ресурсов.

При разработке любой схемы водоотведения должны учитываться:

а) количество и концентрация сточных вод всех категорий, как на первую очередь строительства, так и на расчетные сроки развития обслуживаемого системой водоотведения района;

б) возможность уменьшения количества и концентрации загрязненных производственных сточных вод за счет применения рациональных технологических процессов, частичного или полного водооборота и повторного использования очищенных производственных и бытовых сточных вод в системах производственного водоснабжения на том же или на соседних промышленных предприятиях;

в) целесообразность извлечения и использования ценных примесей, содержащихся в производственных сточных водах;

г) целесообразность совместной очистки бытовых и производственных сточных вод, а также совместного отведения и использования незагрязненных производственных сточных вод;

д) возможность полного или частичного объединения сетей для бытовых, производственных и атмосферных сточных вод;

е) ориентировочный прогноз качества воды в местах водопользования и водопотребления с учетом сброса очищенных и дождевых сточных вод от всех расположенных выше объектов.

Сточные воды, не загрязняющиеся в процессе производства, как правило, должны использоваться в системах оборотного водоснабжения. В отдельных случаях при невозможности и нецелесообразности возврата воды в производство сточные воды могут быть направлены в водоем вместе с дождевыми водами, если это не противоречит «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и «Правилам санитарной охраны прибрежных районов морей», или использованы для орошения сельскохозяйственных земель.

Выбор системы и схемы водоотведения во всех случаях должен производиться с учетом санитарно-гигиенических требований и технико-экономических расчетов.

При этом выбирают такие схемы и систему водоотведения, которые окажутся наиболее надежными по санитарно-гигиеническим показателям и экономичными по строительным и эксплуатационным затратам для всего комплекса сооружений, включая наружные сети, насосные станции и очистные сооружения.

3.3. Условия приема сточных вод в водоотводящие сети

Возможность приема различных категорий сточных вод в водоотводящие сети раздельной и общесплавной систем водоотведения определяется исходя из состава загрязнений этих вод и целесообразности совместной их очистки с учетом санитарно-гигиенических и технико-экономических показателей (таблица 3.1).

Бытовые и загрязненные производственные сточные воды не должны поступать в дождевую сеть, предназначенную для отведения только атмосферных вод, а воды от фонтанов, дренажей и от поливки улиц – в сеть бытовых или производственно-бытовых вод.

Совместное отведение и очистка бытовых и производственных сточных вод, как правило, наиболее целесообразно по технико-экономическим показателям, однако в ряде случаев оказывается недопустимым из-за наличия в производственных сточных водах вредных и ядовитых веществ.

Таблица 3.1 – Условия приема сточных вод в водоотводящие сети

Категория сточных вод	Система водоотведения				
	Раздельная сеть				Общесплавная
	бытовая	производственно-бытовая	Дождевая		
			закрытая	открытая	
Бытовые					
От жилых, общественных, коммунальных и производственных зданий	+	-	-	-	-
От инфекционных отделений больниц, карантинных, ветеринарных лечебниц после хлорирования	+	+	-	-	+
От сливных станций и сливных пунктов, оборудованных решетками и песколовками, после разжижения водой	+	+	-	-	-
От мусородробильных установок по размельчению кухонных и хозяйственных отходов	+	+	-	-	+
От моек автомашин (после пропускания через грязеуловитель и маслобензоуловитель)	-	-	+	+	+
От поливки и мытья улиц	-	-	+	+	+
От дренажных и осушительных сетей	-	-	+	+	+
От фонтанов, холодильников и установок кондиционирования воздуха	-	-	+	+	+
Атмосферные					
Дождевые и талые	-	-	+	+	-
То же, с территорий, сильно загрязненных продуктами производства	+	+	-	-	+

Продолжение таблицы 3.1

То же, после предварительной очистки на местных очистных сооружениях	-	-	+	-	+
Талые воды из стационарных и передвижных снеготаялок	-	+	+	+	+
Чистый снег, сплавляемый по коллекторам					
(в соответствии с требованиями специальных инструкций)	+	+	+	+	-
Производственные					
Незагрязненные воды от промышленных холодильников, от охлаждения производственной аппаратуры и оборудования					
с температурой не выше 40 °С	-	-	+	-	+
Загрязненные воды с температурой не выше 40 °С	-	-	-	-	+
Воды, очищенные на локальных очистных сооружениях	По согласованию с органами ГСЭН			+	+
Загрязненные воды после карантинных при мясокомбинатах, воды кожевенных заводов и биофабрик, имеющие инфекционные загрязнения, после очистки и хлорирования	+	+	По согласованию с органами ГСЭН	-	-
<i>Примечание.</i> Сточные воды, допускаемые к приему в канализацию, отмечены знаком «+», а не допускаемые знаком «-».					

Поэтому при проектировании совместного отведения бытовых и производственных сточных вод следует в каждом случае исходить из качественного состава загрязнений производственных сточных вод и возможности образования в их смеси концентраций вредных веществ, опасных для обслуживающего персонала и нарушающих биологические процессы очистки.

Предельные допустимые концентрации различных ядовитых веществ приводятся в строительных нормах и правилах, в прави-

лах технической эксплуатации системы водоотведения и правилах приема производственных сточных вод в общегородские сети водоотведения, издаваемых республиканскими органами, осуществляющими контроль и надзор за объектами коммунального хозяйства. Содержание радиоактивных элементов в сточных водах регламентируется санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений.

Производственные сточные воды могут быть приняты в раздельную или общесплавную сети, если они не содержат токсических органических загрязнений. В тех случаях, когда совместное отведение бытовых и производственных вод не удовлетворяет указанным условиям, они отводятся и очищаются раздельно и могут быть приняты в водоотводящие сети только после предварительной очистки.

Сточные воды мелких предприятий, а также местной и пищевой промышленности по переработке сельскохозяйственных продуктов (например, картофелекрахмальной, молочной, пивоваренной и др.) могут приниматься в городские системы водоотведения без ограничения и в ряде случаев без предварительной обработки.

Сточные воды некоторых предприятий, например мясокомбинатов и кожевенных заводов, могут быть приняты в городские системы водоотведения только после их предварительной обработки и обеззараживания в целях предохранения от попадания патогенных бактерий.

В городские системы водоотведения не принимают без предварительной очистки производственные сточные воды, содержащие жиры, масла, смолы, бензин, нефтепродукты, ядовитые вещества в концентрациях, препятствующих биологической очистке и сбросу в водоемы, нерастворимые примеси с большим удельным весом, а также воды с волокнистыми и объемными примесями, которые засоряют и закупоривают сети, затрудняют работу насосных станций, нарушают процессы биологической очистки сточных вод и обработку осадка, а также оказывают разрушающее (корродирующее) действие на материал труб и элементы сооружений системы водоотведения.

Температура производственных сточных вод не должна быть выше +40 °С.

Не допускается также сброс воды, которая может выделять ядовитые или взрывоопасные газы, а также стоков предприятий тяжелой промышленности, заводов черной металлургии, рудообогатительных фабрик, машиностроительных и химических комбинатов.

Производственные сточные воды в смеси с бытовыми при подходе к биологическим очистным сооружениям не должны иметь активную реакцию рН ниже 6,5 и выше 9, и не должны иметь концентрацию взвешенных веществ и всплывающих примесей более 500 мг/л.

На сетях производственных систем водоотведения со стоками кислыми, радиоактивными или выделяющими взрывоопасные газы, необходимо устанавливать соответствующие анализаторы, показания которых могут передаваться на расстояние. При нарушении абонентами правил спуска сточных вод в общегородские сети контрольные приборы должны дать соответствующий сигнал и импульс на закрытие задвижки на выпуске сточных вод.

3.4. Использование водоотводящей сети для сплава снега, жидких и измельченных отходов

Бытовую, производственную и общесплавную сети допускается использовать для сплава снега, жидких и измельченных отходов.

Для приема жидких нечистот и помоев устраивают сливные станции и сливные пункты. Нечистоты и помои из районов, не обеспеченных системами водоотведения, перевозятся ассенизационными машинами на сливные станции, здесь они разбавляются водой в два-три раза, пропускаются через решетки и песколовки и сплавляются в водоотводящую сеть.

Кухонные и хозяйственные отбросы перед сбросом в сеть освобождаются от утиля (тряпок, кожи, резины, бумаги и др.) и крупных предметов неорганического происхождения (битого

стекла, консервных банок и др.) и размельчаются в дробилках до частиц размером $2\div 3$ мм.

При измельчении отбросов в дробилки подают воду в объеме, в $8\div 10$ раз большем массы отбросов. Для освобождения от песка, стекла и шлака разжиженную смесь пропускают через песколовку. При соблюдении этих условий сброс измельченных отбросов в водоотводящую сеть не приводит к ее засорению и является экономически целесообразным в связи с уменьшением затрат на вывозку и их обезвреживание.

Норму отбросов по сухому веществу на одного человека принимают равной $70\div 100$ г/сутки, из них способных к осажению – $40\div 60$ г.

Водоотводящая сеть может использоваться для таяния и сплава снега. Талые воды из стационарных и передвижных снеготаялок допускается сбрасывать в любую водоотводящую сеть после их пропуска через песколовку.

Сплавлять свежес выпавший чистый снег разрешается по дождевым сетям, если по ним транспортируются сточные воды, а также по общесплавным, бытовым и производственно-бытовым водоотводящим сетям, если сплав снега не окажет вследствие понижения температуры существенного влияния на ход биологических процессов при очистке сточных вод и переработке осадка на очистных станциях.

При сплаве снега по водоотводящим сетям необходимо соблюдать технические правила и не нарушать нормальный режим работы сети. Не вызывает осложнений сплав снега по трубам диаметром более 300 мм при их наполнении сточными водами на 0,5 диаметра трубы и скорости течения не менее 0,7 м/с. При наполнении трубы более 0,8 диаметра сплав снега производить не рекомендуется, так как это может привести к закупорке труб.

До поступления сточных вод на очистные станции должно произойти полное таяние снега в коллекторах, при этом объем снега при гидравлическом расчете водоотводящей сети не учитывается, а количество талых вод, поступающих на очистные сооружения, необходимо учитывать.

4. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ

4.1. Расчетные данные для определения количества сточных вод

4.1.1. Расчетное население

Под расчетным населением нужно понимать число жителей, которые будут проживать в городе или населенном пункте к концу расчетного периода.

Расчетным периодом (сроком) действия системы водоотведения называют промежуток времени, в продолжение которого система водоотведения будет иметь необходимую мощность (пропускную способность) и удовлетворять своему назначению без реконструкции.

Расчетный период действия системы водоотведения определяется для городов и поселков проектом планировки (20÷25 лет), а для промышленных предприятий – расчетным сроком работы предприятия на полную производительность.

Расчетное население N_p устанавливают по проекту планировки города на каждый период развития системы водоотведения (на расчетный период, на первую очередь) с учетом роста населения. При определении расчетного населения кварталов и микрорайонов города исходят из плотности населения ρ , т. е. числа жителей на 1 га территории, на которой планируется строительство системы водоотведения.

Если при расчетах учитывают селитебную площадь, то такую плотность называют **плотностью населения по селитебной территории ρ_c** .

Если при исчислении плотности учитывают только площадь застройки жилых кварталов или микрорайонов, то получают **плотность населения жилого квартала или микрорайона ρ_k** .

При составлении проекта, когда определяют расход сточных вод для целого города или для большого района, население исчисляют из плотности по селитебной территории.

При разработке рабочих чертежей, когда требуется определить расход сточных вод для небольшой площади, прилегающей

к рассматриваемому участку линии водоотводящей сети, исчисления производят по плотности населения жилого квартала или микрорайона.

Плотность населения зависит от размеров города, этажности зданий, средней плотности жилого фонда, нормы жилой площади на одного жителя и принимается по проекту планировки.

Зная плотность, определяют расчетное население N_p по формуле

$$N_p = \sum \rho * F * \beta, \quad (4.1)$$

где ρ – плотность населения: по кварталам ρ_k или по селитебной территории ρ_c ; F – площадь с одинаковой плотностью населения: жилых кварталов F_u или селитебной территории F_Q ; β – коэффициент обслуживания системы водоотведения. Этот коэффициент учитывается при расчетах, если в кварталах размещают здания общественного назначения (детские, учебные, культурно-просветительные и лечебные учреждения) или если не все здания оборудуются внутренней системой водоотведения.

4.1.2. Норма водоотведения

Нормой водоотведения называют среднее суточное количество сточных вод на одного жителя, а на промышленных предприятиях – количество сточных вод на единицу вырабатываемой продукции.

Нормы среднесуточного водоотведения бытовых сточных вод в районах жилой застройки должны приниматься в соответствии с нормами водопотребления в зависимости от степени благоустройства этих районов, а также от климатических, санитарно-гигиенических и других местных условий (таблица 4.1).

В приведенные нормы водоотведения включены все сточные воды, образующиеся в жилых и общественных зданиях (поликлиниках, банях, прачечных, детских, школьных и культурно-просветительных учреждениях), за исключением больниц, санаториев, домов отдыха и пионерских лагерей. При необходимости учета сосредоточенных расходов сточных вод от этих объектов их принимают по действующим нормативам (СНиП 2.04.01–85* «Внутренний водопровод и канализация зданий»).

Таблица 4.1 – Нормы водоотведения
бытовых сточных вод населенных мест

Степень благоустройства районов жилой застройки	Водоотведение на одного жителя среднесуточное (за год), л/сут
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и водоотведением, без ванн	125÷160
Застройка зданиями, оборудованными внутренними водопроводом и водоотведением и ваннами с местными водонагревателями	160÷230
Застройка зданиями, оборудованными внутренним водопроводом, водоотведением и системой централизованного горячего водоснабжения	250÷350

В районах не обеспеченных системами водоотведения, нормы водоотведения принимаются из расчета 25 л/сут на одного жителя за счет сброса в систему водоотведения сточных вод сливными станциями и коммунально-бытовыми предприятиями (банями, прачечными и др.).

Нормы водоотведения бытовых сточных вод от промышленных предприятий, вспомогательных и обслуживающих зданий общественного назначения принимают равными нормам водоотведения по СНиП 2.04.01–85*, и исчисляют на одного работающего:

а) в цехах с тепловыделениями более 84 кДж/ч на 1 м³ объема помещения – 45 л/смену с коэффициентом неравномерности 2,5;

б) в остальных цехах и вспомогательных зданиях – 25 л/смену с коэффициентом неравномерности 3,0.

Продолжительность действия душевых принимают 45 мин после каждой смены. Расход душевых вод исчисляют:

а) для групповых душевых – 500 л на одну душевую сетку;

б) для индивидуальных душей в бытовых помещениях – 40 л на одну душевую сетку;

в) в зависимости от требований санитарного режима – 60 л на одну процедуру.

Водоотведение с предприятий местной промышленности, а также неучтенные расходы могут приниматься в количестве $5 \div 10$ % суммарного расхода сточных вод населенного пункта.

На перспективное развитие канализации (20÷25 лет) количество сточных вод определяют по нормам водоотведения (по таблице 4.1) с коэффициентом неравномерности, равным 1,15.

Нормы и коэффициенты неравномерности водоотведения производственных сточных вод промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов следует принимать на единицу выработанной продукции или на основании данных, представляемых технологами.

В каждом отдельном случае при назначении норм следует учитывать прогресс в технике и технологических процессах производства. Нормы водоотведения значительно снижаются в случае применения повторного использования и оборота воды в производстве и могут составлять $2 \div 10$ % исходной воды. Поэтому для уменьшения количества производственных сточных вод (там, где позволяет технологический процесс, целесообразно применять оборот воды в производстве или повторное использование ее в других цехах и производствах).

4.1.3. Коэффициенты неравномерности водоотведения

При проектировании систем водоотведения городов и промышленных предприятий требуется знать не только нормы и общее количество сточных вод, но и режим их водоотведения, т.е. изменение расходов сточных вод по часам суток, а также значения возможных максимальных расходов, которые определяются так называемыми **коэффициентами суточной и часовой неравномерности водоотведения**.

Нормами бытового водоотведения учитывают средний суточный (за год) расход сточных вод. Однако суточный расход может быть как больше среднесуточного (в сутки наибольшего водоотведения), так и меньше. Поэтому кроме среднесуточного расхода (водоотведения) определяют максимальный суточный расход. Максимальный суточный расход на одного жителя в населенных

пунктах определяют умножением среднесуточного расхода на коэффициент суточной неравномерности водоотведения.

Коэффициентом суточной неравномерности водоотведения $K_{сут}$ называют отношение максимального суточного расхода к среднему суточному. Для населенных пунктов принимают $K_{сут} = 1,1 \div 1,3$ в зависимости от местных и климатических условий.

Коэффициентом часовой неравномерности водоотведения $K_{час}$ называют отношение максимального часового расхода к среднему часовому расходу в сутки наибольшего водоотведения.

При расчете водоотводящей сети наиболее удобно применять общий коэффициент неравномерности $K_{общ}$, представляющий собой отношение максимального часового расхода в сутки наибольшего водоотведения к среднему часовому расходу среднесуточного водоотведения.

Общий коэффициент неравномерности водоотведения $K_{общ}$ получают перемножением коэффициентов суточной и часовой неравномерности:

$$K_{общ} = K_{сут} * K_{час} . \quad (4.2)$$

При расчете водоотводящей сети населенных мест $K_{общ}$ принимают в зависимости от значений средних секундных расходов (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Общие коэффициенты неравномерности водоотведения бытовых сточных вод для расчета сети

Средний расход сточных вод, л/с	до 5	15	30	50	100	200	300	500	800	1250 и более
Общий коэффициент неравномерности водоотведения $K_{общ}$	3,0	2,5	2,0	1,8	1,6	1,4	1,35	1,25	1,2	1,15

При промежуточных значениях среднего расхода сточных вод общий коэффициент неравномерности притока сточных вод определяют интерполяцией. Для городов с населением более 1 млн человек $K_{общ}$ принимают по данным эксплуатации городов-аналогов.

Для зданий общественного назначения и бытовых помещений промышленных предприятий коэффициент суточной нерав-

номерности водоотведения принимают равным единице, а коэффициент часовой неравномерности водоотведения – в соответствии с действующими нормами (СНиП 2.04.01–85* «Внутренний водопровод и канализация зданий»).

Коэффициенты часовой неравномерности водоотведения производственных сточных вод определяются технологическими условиями, они колеблются в широких пределах.

5. РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ СТОЧНЫХ ВОД

5.1. Определение расчетных расходов сточных вод

Первоочередной задачей при проектировании новых и реконструкции существующих систем водоотведения является правильное определение расчетных расходов сточных вод.

Расчетным называют максимальный расход сточных вод, пропуск которого должны обеспечить водоотводящие сети и сооружения на расчетный период.

Для расчета сооружений определяют средние и максимальные суточные, часовые и секундные расходы. Обычно суточный и часовой расходы Q определяют в кубических метрах, а секунднй расход q – в литрах.

Расчетные расходы бытовых сточных вод от населения городов и рабочих поселков определяют для отдельных районов по принятым для них нормам водоотведения по следующим формулам:

$$Q_{\text{ср. сут.}} = (n * N_P) / 1000, \quad (5.1)$$

$$Q_{\text{ср. час.}} = (n * N_P) / (24 * 1000), \quad (5.2)$$

$$Q_{\text{ср. сек.}} = (n * N_P) / (24 * 3600), \quad (5.3)$$

$$Q_{\text{max. сут.}} = ((n * N_P) / 1000) * K_{\text{сут.}}, \quad (5.4)$$

$$Q_{\text{max. час.}} = ((n * N_P) / (24 * 1000)) * K_{\text{общ.}}, \quad (5.5)$$

$$q_{\text{max. сек.}} = ((n * N_P) / (24 * 3600)) * K_{\text{общ.}}, \quad (5.6)$$

где n – норма среднего водоотведения на одного жителя, л; N_P – расчетное население; $K_{\text{сут.}}$ – коэффициент суточной неравномерности водоотведения; $K_{\text{общ.}}$ – общий коэффициент неравномерности водоотведения (принимается по таблице 5.1).

Бытовые сточные воды на предприятиях учитывают отдельно. Расчетные часовые и секундные расходы этих вод определяют по смене с максимальным числом рабочих и с учетом ее продолжительности по следующим формулам:

$$Q_{\text{сут.}} = (25 * N_1 + 45 * N_2) / 1000, \quad (5.7)$$

$$Q_{\text{max. час.}} = (25 * N_3 * K_{\text{час}} + 45 * N_4 * K_{\text{час}}) / (T * 1000), \quad (5.8)$$

$$Q_{\text{max. сек.}} = (25 * N_3 * K_{\text{час}} + 45 * N_4 * K_{\text{час}}) / (T * 3600), \quad (5.9)$$

где N_1 и N_2 – число работающих в сутки при норме водоотведения соответственно 25 и 45 литров на одного человека; N_3 и N_4 – число работающих в смену с максимальным числом рабочих при норме водоотведения соответственно 25 и 45 литров на одного человека; $K_{\text{час}}$ – коэффициент часовой неравномерности водоотведения; T – число часов работы смены.

Расчетные расходы душевых сточных вод определяют с учетом характеристики производственных процессов по формулам:

$$Q_{\text{сут.}} = (40 * N_5 + 60 * N_6) / 1000, \quad (5.10)$$

$$Q_{\text{max. сек.}} = (40 * N_7 + 60 * N_8) / (45 * 60), \quad (5.11)$$

где N_5 и N_6 – число пользующихся индивидуальным душем в душевых помещениях в сутки при норме водоотведения 40 и 60 литров на одного человека; N_7 и N_8 – число принимающих душ в смену с максимальным числом рабочих при норме водоотведения 40 и 60 литров на одного человека.

Расчетные расходы производственных сточных вод определяют по производительности оборудования умножением нормы водоотведения на число единиц выпускаемой продукции:

$$Q_{\text{сут.}} = m * M, \quad (5.12)$$

$$Q_{\text{max. сек.}} = ((m * M_1 * 1000) / (T * 3600)) * K_{\text{час}}, \quad (5.13)$$

где m – норма водоотведения на единицу продукции, м³; M – число единиц продукции, выпускаемой за сутки; M_1 – то же, в смену с максимальной выработкой; T – число часов работы оборудования.

5.2. Графики колебаний расходов (притока) сточных вод

Для определения размеров сооружений системы водоотведения необходимо знать ожидаемый приток сточных вод. Обычно поступление сточной воды от отдельных объектов колеблется в течение суток.

Длительными наблюдениями установлено, что колебания притока бытовых сточных вод в водоотводящую сеть в различных городах подчиняются определенной закономерности с незначительными отклонениями.

На основе данных наблюдения, на основании замеров по часам суток, строится так называемый ступенчатый график притока сточных вод, где по оси абсцисс откладываются данные по времени суток в часах, а по оси ординат – данные по реальным часовым притокам сточных вод в процентах от суточного расхода. График должен быть составлен с учетом, как суточных, так и часовых коэффициентов неравномерности водоотведения.

Примечание. При реконструкции существующих сетей водоотведения, графики притока могут быть составлены на основании данных, полученных путем непосредственного замера притока.

Если бы приток сточных вод был равномерным в течение суток, то линия притока была бы изображена в виде прямой, параллельной оси абсцисс, а величина часового расхода в процентах от суточного составила бы $Q_{\text{час.}} = 100:24 = 4,17 \%$.

Допустим, что максимальный часовой приток составляет 6,5 % от суточного расхода, что соответствует общему коэффициенту неравномерности водоотведения

$$K_{\text{общ.}} = 6,5 : 4,17 = 1,55 \approx 1,6.$$

При $K_{\text{общ.}} = 1,6$ режим поступления сточных вод по часам суток можно определить по таблице 5.1, где приводится примерное распределение суточного расхода в городах и поселках, при средних секундных расходах сточных вод более 50 л/с и соответствующих им коэффициентах неравномерности.

Поступление в водоотводящие сети бытовых сточных вод промышленных предприятий также характеризуется определенной закономерностью. Повышенные расходы наблюдаются в начале смены и перед обеденным перерывом; наибольшее же повышение расхода, соответствующее коэффициенту часовой неравномерности водоотведения, равному 3,0 или 2,5 – наблюдается в конце смены. В остальные часы расход может быть принят равномерным. Режим поступления производственных вод принимают по данным, представляемым технологами (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Примерное распределение среднесуточного расхода бытовых сточных вод в процентах по часам суток

Часы суток	q сред. сек (литров)						
	50	100	200	300	500	800	1250 и более
	K общ.						
	1,8	1,6	1,4	1,35	1,25	1,2	1,15
1	2	3	4	5	6	7	8
0÷1	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
1÷2	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
2÷3	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
3÷4	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
4÷5	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
5÷6	3,3	4,35	4,2	4,8	5,05	4,9	4,8
6÷7	5	5,95	5,8	5	5,15	4,9	4,8
7÷8	7,2	5,8	5,8	5	5,15	5	4,8
8÷9	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
9÷10	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
10÷11	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
11÷12	6,4	4,8	5,05	5,25	5,1	5	4,8
12÷13	3,7	3,95	4,2	5	5	4,8	4,7
13÷14	3,7	5,55	5,8	5,25	5,1	5	4,8
14÷15	4	6,05	5,8	5,65	5,2	5	4,8
15÷16	5,7	6,05	5,8	5,65	5,2	5	4,8
16÷17	6,3	5,6	5,8	5,65	5,2	5	4,8
17÷18	6,3	5,6	5,75	4,85	5,15	5	4,7
18÷19	6,3	4,3	5,2	4,85	5,1	5	4,8
19÷20	5,25	4,35	4,75	4,85	5,1	5	4,8
20÷21	3,4	4,35	4,1	4,85	5,1	5	4,8
21÷22	2,2	2,35	2,85	3,45	3,8	4,5	4,8
22÷23	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,4	3
23÷24	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
Итого	100	100	100	100	100	100	100

5.3. Суммарные расходы сточных вод

Суммарные расходы сточных вод от населенных пунктов определяют по периодам развития системы водоотведения (первая очередь, расчетный период). Эти расходы подсчитывают раздельно:

- а) от населения, проживающего постоянно;
- б) от населения, временно проживающего или находящегося в гостиницах и на вокзалах;
- в) от работающих на промышленных предприятиях.

Расчетный расход от постоянно проживающего населения может быть определен двумя способами:

- 1) по числу населения, проживающего в отдельных районах города и в зданиях с различной степенью благоустройства;
- 2) по удельным расходам или модулям стока.

В том и другом случае численность населения принимают по проектам планировки. По первому способу суммарные расчетные расходы определяют непосредственно по числу населения, нормам водоотведения и коэффициентам неравномерности. Второй способ основан на допущении, что сточные воды от постоянно проживающего населения поступают пропорционально площади стока, т. е. с каждого квартала или его части. При этом предполагается, что весь расход поступает в начало участка сети (в верхнюю его часть), прилегающего к данной площади стока (части квартала). При таком условии расход сточных вод на этом участке сети оказывается величиной постоянной, что упрощает расчет.

Удельным расходом или модулем стока называют средний расчетный расход q_0 (л/с) с 1 га:

$$q_0 = (n * \rho) / 86400, \quad (5.14)$$

где n – норма водоотведения от одного человека, л/сутки; ρ – плотность населения, чел/га.

Модуль стока определяют для каждого района в зависимости от плотности населения и норм водоотведения.

Если степень благоустройства жилой застройки бассейна водоотведения разная, то ее норму принимают как среднюю взвешенную величину. Приведенные методы определения расхода

правильны для городов или крупных жилых районов, но для жилых кварталов они дают либо заниженные, либо завышенные результаты. Обусловлено это тем, что в норму водоотведения n входит и та часть воды $n_{об}$, которую население расходует не дома, а в обслуживающих зданиях общественного назначения (в бане, прачечной, учебном заведении, клубе, театре, столовой, поликлинике и др.), расположенных вне данного квартала. Расходы сточных вод в единицу времени из обслуживающих зданий иногда достигают значительных размеров. В целях уточнения расчета (при проверке на пропускную способность участков сети ниже места присоединения) расходы сточных вод в общественных зданиях следует считать как сумму сосредоточенных расходов $\sum Q_{соср}$. Сосредоточенный расход нужно исключить из среднесуточного расхода района, и тогда удельный расход q_0 может быть подсчитан по формуле:

$$q_0 = (n_0 * \rho) / 86400 \quad (5.15)$$

или

$$n_0 = ((Q - \sum Q_{соср.}) * 1000) / (86400 * F_p), \quad (5.16)$$

где n_0 – остаточная норма водоотведения, л/сут на одного человека без сосредоточенных расходов на здания общественного назначения; Q – среднесуточный расход сточных вод района водоотведения, м³; F_p – площадь района водоотведения с одинаковой степенью благоустройства. Остаточная норма водоотведения n_0 определяется из равенства:

$$n_0 = n_0 - n_{об}, \quad (5.17)$$

где

$$n_{об} = (\sum Q_{соср.} * 1000) / N_p. \quad (5.18)$$

Определяемые суммарные расходы сточных вод от населения жилых районов, сосредоточенные от коммунальных и общественных зданий; производственные и бытовые от промышленных предприятий сводят в таблицы, а затем составляют суммарные графики, по которым находят максимальные часовые и секундные расчетные расходы сточных вод, поступающие в водоотводящие коллекторы и на насосные и очистные станции с учетом коэффициентов неравномерности.

6. ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ

6.1. Гидравлический расчет водоотводящей сети

6.1.1. Формы поперечных сечений труб и коллекторов и их гидравлическая характеристика

Наружная водоотводящая сеть состоит из подземных трубопроводов и коллекторов различной формы сечения, предназначенных для приемки и отведения сточных вод. Исходя из требований индустриализации строительства и широкого применения сборных железобетонных элементов, в настоящее время закрытые коллекторы сооружают круглыми, а для пропуска больших расходов сточных вод – прямоугольными.

До 90 % протяженности всех существующих водоотводящих сетей выполняют из труб круглого сечения. Они нашли широкое применение, как при напорном, так и при самотечном режиме течения. Эти трубы наиболее экономичны по затратам материала на их изготовление, хорошо сопротивляются внешним нагрузкам, удобны в укладке и эксплуатации и в большей степени удовлетворяют гидравлическим условиям.

При малой глубине заложения коллекторам придают полукруглую форму сечения лотка с вертикальными боковыми стенками, перекрытыми съёмными плитами. Коллекторы банкетного сечения относят также к круглым: лоток у них представляет собой полуокружность малого радиуса.

Для крупных коллекторов круглого сечения давление грунта и временная нагрузка довольно велики. В целях уменьшения толщины стенок крупным коллекторам придают полуэллиптическое (шатровое) сечение. В них, как и в круглых каналах, высота равна ширине, поэтому они обладают высокой отводоспособностью и благоприятными гидравлическими условиями для транспортирования песка, но они не отвечают требованиям индустриального строительства. Яйцевидные коллекторы хорошо сопро-

тивляются давлению грунта и временным нагрузкам, однако не индустриальны в строительстве и встречаются только в системах водоотведения, построенных до 1930 года.

При устройстве дождевой системы водоотведения получили применение лотковые и пятиугольные коллекторы. В настоящее время строят круглые и прямоугольные коллекторы из сборных железобетонных элементов.

Открытые каналы трапецеидального и прямоугольного сечения применяют при распределении сточных вод на очистных сооружениях, на полях орошения и при отведении очищенных вод в водоем.

Гидравлическая характеристика поперечных сечений коллекторов определяется наибольшей их пропускной способностью при заданном уклоне и площади живого сечения потока. Наивыгоднейшим в этом отношении сечением является круглое как имеющее наибольший гидравлический радиус. Гидравлическим радиусом R называется отношение площади живого сечения потока ω к смоченному периметру χ :

$$R = \omega / \chi. \quad (6.1)$$

Гидравлический радиус при полном и половинном наполнениях круглой трубы:

$$R = \omega / \chi = (\pi * d^2) / (4 * \pi * d) = d / 4 = 0,25 * d. \quad (6.2)$$

и достигает максимума $0,304 * d$ при степени наполнения $h = 0,813 * d$.

При частичном наполнении:

$$R = \acute{R} * d, \quad (6.3)$$

$$\omega = \acute{\omega} * d^2, \quad (6.4)$$

где \acute{R} и $\acute{\omega}$ – гидравлические характеристики; принимаются по гидравлическим справочникам в зависимости от формы сечения и степени наполнения.

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

Выбор формы поперечного сечения крупных коллекторов производится с учетом технико-экономических показателей и возможности применения промышленных методов производства монтажных работ при укладке коллекторов.

6.1.2. Минимальные диаметры и степень наполнения труб

В начальных участках внутриквартальной и уличной водоотводящих сетей расчетный расход обычно невелик, и поэтому можно было бы применять трубы малого диаметра. Однако многолетний опыт эксплуатации показывает, что число засорений в уличной сети диаметром 150 мм в два раза больше, чем в трубах диаметром 200 мм, что вызывает значительные эксплуатационные расходы. Разница же в стоимости укладки труб диаметром 150 и 200 мм незначительна.

Во избежание частого засорения труб и для удобства их прочистки установлены следующие минимальные диаметры труб:

- а) для бытовой водоотводящей сети – внутриквартальной 150 мм, уличной 200 мм;
- б) для дождевой и общесплавной водоотводящей сети – внутриквартальной 200 мм, уличной 250 мм;
- в) для напорных илопроводов – 150 мм.

В населенных пунктах с расходом сточных вод до 500 м³/сут. допускается уличные сети бытовой водоотводящей сети укладывать из труб диаметром 150 мм. Для производственной водоотводящей сети также допускается применение труб диаметром 150 мм.

Наполнением называется отношение высоты протекающего слоя воды h к внутреннему диаметру круглого коллектора d или к высоте H коллекторов других форм сечения (т. е. h/d или h/H).

Степень наполнения труб при самотечном режиме течения воды нормируется. Наполнение, соответствующее пропуску расчетного расхода, называют расчетным. Расчетное наполнение предусматривают на расчетный период действия системы водоотведения. Общесплавную и дождевую водоотводящую сеть рассчитывают на полное наполнение при максимальной интенсивности дождя. Бытовую и производственную водоотводящие сети

рассчитывают на частичное наполнение труб, чтобы иметь некоторый запас в площади сечения труб на неравномерное поступление сточных вод и обеспечить вентиляцию сети для удаления вредных и взрывоопасных газов (таблица 6.1).

Наполнение коллекторов любой формы поперечного сечения высотой $H = 900$ мм и более принимают равным $0,8 \cdot H$. При кратковременном пропуске по бытовой и производственной сети диаметром до 500 мм душевых и банно-прачечных вод допускается полное наполнение.

Глубина потока в открытых каналах (канавках) и кюветах дождевой сети, расположенных в пределах населенного пункта, не должна быть больше 1 м. Бровка канавы должна возвышаться на 0,2 м выше наивысшего горизонта воды в канаве.

Таблица 6.1 – Расчетное наполнение h/d в трубах круглого сечения

Водоотводящая сеть	Значение h/d при диаметре d , мм			
	150÷300	350÷450	500÷900	свыше 900
Бытовая и производственно-бытовая	0,6	0,7	0,75	0,8
Производственная для загрязненных вод	0,7	0,8	0,85	1
Общесплавная, дождевая и производственная для незагрязненных вод	1	1	1	1

6.1.3. Режим течения сточных вод в наружной водоотводящей сети

Сточная жидкость, транспортируемая по водоотводящим сетям, является полидисперсной системой с большим количеством плотных и жидких нерастворимых примесей. Масса нерастворимых примесей, транспортируемых по бытовым водоотводящим сетям, составляет около 0,065 кг на одного жителя в сутки по сухому веществу. При сплыве по водоотводящей сети измельченных бытовых отходов она возрастает примерно до 0,1 кг на одного жителя в сутки.

При малых скоростях течения нерастворимые примеси могут выпадать в трубах в виде осадка, что приводит к уменьшению их пропускной способности, засорению, а иногда и к полной закупорке, а устранение засорения и закупорки связано со значительными трудностями.

В нормально работающей водоотводящей сети нерастворимые примеси, содержащиеся в сточных водах, должны непрерывно транспортироваться потоком воды. Чтобы избежать засорения водоотводящей сети осадками, необходимо знать:

- а) режим движения сточной жидкости;
- б) критические или, как их называют в практике расчета водоотводящих сетей, самоочищающие скорости течения;
- в) транспортирующую способность потока сточных вод.

Изучением явлений, связанных с транспортированием сточной жидкостью взвешенных веществ и с режимом движения сточной жидкости в водоотводящей сети, занимались профессора А.Я. Милович, Б.О. Ботук, Н.Ф. Федоров, С.В. Яковлев, инж. А.В. Грицук, кандидаты технических наук А.А. Карпинский, Н.А. Масленников, С.К. Колобанов и др., а также зарубежные ученые. Многочисленные исследования показали, что в водоотводящей сети хорошо транспортируются органические нерастворимые вещества и плохо нерастворимые минеральные примеси, главным образом песок, который при неблагоприятных гидравлических условиях выпадает в осадок.

В осадках, выпавших в водоотводящей сети, содержится от 3 до 8 % по объему органических веществ, в основном крупностью более 1 мм, и от 92 до 97 % минеральных веществ крупностью в среднем около 1 мм, в том числе до 75 % веществ крупностью менее 0,5 мм.

Больше всего в осадке содержится песка. По данным различных исследований, количество его составляет от 70 до 90 %. Плотность уплотненного осадка бытовых водоотводящих сетей составляет в среднем $1,6 \text{ т/м}^3$, а неуплотненного (с учетом пористости) – $1,4 \text{ т/м}^3$.

Фракционный состав осадка в разных системах водоотведения, по исследованиям проф. Н.Ф. Федорова, сильно не различа-

ются. На крупность фракций и состав осевшего в коллекторах осадка оказывает влияние скорость потока жидкости. Опыт эксплуатации действующих водоотводящих сетей подтверждает, что все существующие коллекторы по транспортирующей способности можно разбить на три группы (соответствующие трем состояниям потока), в которых:

1) обеспечивается необходимая скорость и никогда не наблюдается выпадение осадков; прочистка таких коллекторов не требуется;

2) наблюдается волнообразное передвижение песка; прочистка таких коллекторов также не требуется;

3) гидравлические уклоны малы и транспортирующая способность потока недостаточна; осадки в таких коллекторах выпадают сплошным мощным и уплотненным слоем.

Вследствие образования в трубах нового ложа из осадков, гидравлические сопротивления возрастают и достигают значений, равных сопротивлению при течении жидкости по земляному руслу. Эксплуатация таких коллекторов возможна только при их регулярной прочистке.

Потери энергии (напора) h_{mp} при движении жидкостей по трубам и каналам могут быть выражены уравнением

$$h_{mp} = b * v^m, \quad (6.5)$$

где b – коэффициент, учитывающий влияние размеров трубы, шероховатость ее стенок и вид жидкости; m – показатель степени, учитывающий влияние скорости v движения жидкости; при ламинарном движении $m = 1$, при турбулентном $m = 1,75 \div 2$.

Характеристикой режима потока служит безразмерное число Рейнольдса Re , которое для круглых труб при полном заполнении может быть выражено формулой

$$Re = v * d / \nu = v * 4 * R / \nu, \quad (6.6)$$

где v – средняя скорость движения жидкости; d – диаметр труб; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Исследованиями движения чистой воды установлено, что при $Re \leq 2320$ – режим движения будет ламинарным, а при $Re \geq 2320$ – турбулентным.

Движение жидкости в водоотводящей сети происходит в турбулентном режиме. При этом режиме непосредственно у стенки трубы возникает очень тонкий слой воды $\delta_{л}$ с ламинарным движением. При малых величинах Re слой $\delta_{л}$ больше высоты выступов шероховатой стенки Δ_3 .

В этом случае шероховатость труб не вызывает дополнительного сопротивления и вода движется, как в гладких трубах. С увеличением средней скорости потока уменьшается величина $\delta_{л}$, выступы на стенах труб обнажаются и трубы становятся гидравлически шероховатыми, что ведет к увеличению коэффициента сопротивления движению.

Таким образом, в зависимости от скорости течения трубы могут работать в гладкой и шероховатой зонах, а также в переходной области между ними.

Основными гидравлическими характеристиками потока жидкости являются: расход Q , средняя скорость потока v , площадь живого сечения потока ω , гидравлический радиус R , гидравлический уклон I , коэффициент шероховатости стенок трубы n .

Движение сточных вод на отдельных участках водоотводящей сети может быть равномерным и неравномерным.

Равномерным движением называется такое движение, при котором средняя скорость потока по длине русла не изменяется. Оно может быть только:

- 1) при постоянстве расхода ($q = \text{const}$), площади живого сечения потока ($\omega = \text{const}$), гидравлического уклона, равного уклону дна русла при безнапорном движении ($I = i = \text{const}$), или давления ($p = \text{const}$) в начальной точке при напорном потоке;
- 2) при однотипной шероховатости смоченной поверхности русла по его длине и в поперечном сечении;
- 3) при отсутствии местных сопротивлений.

Неравномерным движением называется такое движение, при котором в разных по площади живых сечениях русла средняя скорость потока неодинакова. Фактические скорости движения воды в сети резко изменяются вследствие местных сопротивлений, создаются подпоры, что способствует выпадению осадков. Неравномерность движения жидкости в сети осложняется тем, что поступ-

ление сточных вод не остается постоянным, а изменяется по часам суток и увеличивается от боковых присоединений сети. Все это позволяет считать, что движение жидкости в водоотводящей сети не только неравномерное, но и неустановившееся.

Неустановившийся режим движения сточных вод проявляется более резко в трубах малого диаметра. В коллекторах большого диаметра мелкие попутные присоединения, несущие малые расходы сточных вод, не оказывают влияния на режим потока. Вследствие сложности расчета водоотводящей сети по формулам неравномерного движения из-за неоднородности состава и неравномерности режима поступления сточных вод в сеть, ее гидравлический расчет производят по универсальным формулам равномерного движения в шероховатой, гладкой и переходной области турбулентного режима.

6.1.4. Формулы для гидравлического расчета водоотводящей сети

Гидравлический расчет водоотводящих сетей заключается в определении диаметров труб для расчетных максимальных секундных расходов сточных вод, уклонов, потерь напора, скоростей течения и степени наполнения. При расчете сети допускается, что расчетный расход сточных вод поступает в начале расчетного участка, а режим движения жидкости в расчетных участках сети равномерный.

В основу гидравлического расчета приняты:

1) формула постоянства расхода:

$$q = \omega * v ; \quad (6.7)$$

2) формула Шези для определения скорости течения:

$$v = C \sqrt{R * I}, \quad (6.8)$$

где q – максимальный расчетный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$; ω – площадь живого сечения потока, м^2 ; v – средняя скорость движения потока, $\text{м}/\text{с}$; R – гидравлический радиус, м ; C – коэффициент сопротивления трения по длине; I – гидравлический уклон потока:

$$I = v^2 / (C^2 * R) . \quad (6.9)$$

В СНиП 2.04.03–85 рекомендуется вместо формулы (6.9) пользоваться идентичной формулой Дарси:

$$I = (\lambda / (4 * R)) * (v^2 / (2 * g)), \quad (6.10)$$

где λ – коэффициент сопротивления трению по длине; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Между значениями коэффициентов сопротивления C и λ , существуют следующие зависимости:

$$C = \sqrt{(8 * g / \lambda)} \quad \text{и} \quad \lambda = 8 g / C^2. \quad (6.11)$$

Коэффициент сопротивления C определяют по формуле акад. Н.Н. Павловского:

$$C = (1 / n) * R^y, \quad (6.12)$$

где n – коэффициент шероховатости, принимаемый равным 0,012÷0,015 в зависимости от материала труб; y – показатель степени, зависящий от значения коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса:

$$y = 2,5 * \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 * \sqrt{R} * (\sqrt{n} - 0,1). \quad (6.13)$$

В канализационных коллекторах диаметром до 400 мм гидравлический радиус всегда меньше 1 м, а при $R \leq 1$ и $n = 0,013$ показатель степени

$$y = 1,5 * \sqrt{n} = 1/6. \quad (6.14)$$

При постоянном показателе $y = 1/6$ формула (6.14) получила широкое распространение в ряде стран под названием формулы Маннинга:

$$C = (1 / n) * R^{1/6} \quad (6.15)$$

или приблизительно

$$C = (1 / n) * R^{0,17}. \quad (6.16)$$

Подставляя в формулу (6.8) значение коэффициента C , найденное по формуле Н.Н. Павловского, при $y = 0,17$, получим:

$$v = ((1 / n) * R^{0,67}) * I^{0,5}. \quad (6.17)$$

Подставляя значение C в формулу расхода (6.7), будем иметь:

$$q = ((1 / n) * \omega * R^{0,67}) * I^{0,5}. \quad (6.18)$$

Степенная формула Н.Н. Павловского позволяет легко переходить при расчетах от одного коэффициента шероховатости к другому путем введения добавочного множителя.

Таблица 6.2 – Значения коэффициентов шероховатости

Коллектор	Коэффициент		
	шероховатости, п	эквивалентной шероховатости $\Delta_{\text{э}}$ (см)	учитывающий характер шероховатости материала труб a_2
Трубы			
Керамические	0,013	0,135	90
Асбестоцементные	0,012	0,06	73
Бетонные и железобетонные	0,014	0,2	100
Чугунные	0,013	0,1	83
Стальные	0,012	0,08	79
Каналы			
Бетонные и железобетонные, гладко-затертые цементной штукатуркой	0,012	0,08	50
Бетонные и железобетонные, изготовленные на месте в опалубке	0,015	0,3	120
Кирпичные	0,015	0,315	110
Из бута и тесаного камня на цементном растворе	0,017	0,635	150

В зарубежной практике наряду с формулой Маннинга широко применяют степенную формулу Хазен-Вильямса:

$$v = a * R^{0,63} * I^{0,54}, \quad (6.19)$$

где a – величина, принимаемая равной $100 \div 150$.

В соответствии со СНиП 2.04.03–85* безразмерный коэффициент сопротивления λ рекомендуется определять по формулам Н.Ф. Федорова, учитывающим различную степень турбулентности потока в гладкой, шероховатой и переходной областях движения:

а) для напорного течения:

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 \lg ((\Delta_{\text{э}}/3,42*d) + (a_2/Re)); \quad (6.20)$$

б) для безнапорного течения:

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 \lg ((\Delta_{\text{э}}/13,68*R) + (a_2/Re)), \quad (6.21)$$

где Δ_3 – коэффициент эквивалентной абсолютной шероховатости, см (таблица 6.2); a_2 – безразмерный коэффициент, учитывающий характер шероховатости материала труб (таблица 6.1); R – гидравлический радиус, см; Re – число Рейнольдса.

Δ_3 и R при расчетах принимаются в одинаковых единицах (в см). Проф. Н.Ф. Федоровым установлена зависимость между коэффициентами шероховатости n и эквивалентной шероховатости Δ_3 , которая выражается формулой:

$$n = 0,0392 * (\Delta_3)^{1/6}. \quad (6.22)$$

При гидравлическом расчете водоотводящих сетей пользуются графиками, номограммами и таблицами, составленными по формулам акад. Н.Н. Павловского и проф. Н.Ф. Федорова. Конечные результаты расчетов получаются практически одинаковыми, поэтому расчеты можно вести по любой из приведенных выше формул.

6.1.5. Расчетные скорости движения сточных вод и минимальные уклоны

Для обеспечения нормальных условий работы водоотводящим сетям придают надлежащие уклоны, обеспечивающие течение жидкости с самоочищающимися скоростями. Скорость течения является функцией уклона и гидравлического радиуса. С увеличением уклона или гидравлического радиуса скорость течения жидкости возрастает.

Среднюю скорость течения в рассматриваемом потоке определяют по формуле:

$$v = q / \omega. \quad (6.23)$$

В действительности скорости течения в разных точках поперечного сечения потока несколько отличаются от средней скорости потока: в середине (ядре) потока они значительно больше, чем у стенок и дна. Наименьшая скорость наблюдается у дна. Поэтому, несмотря на достаточную скорость течения в центре потока, лотки коллекторов иногда заполнены осадком. Чем больше диаметр коллектора, тем больше нерастворимых примесей должно транспортироваться в придонном слое и тем больше должны быть донные скорости. Вести расчет водоотводящей сети на донные скорости не

представляется возможным, так как их определение связано с большими трудностями, поэтому расчет водоотводящей сети ведут на расчетную скорость течения. Расчетной скоростью называют скорость течения при максимальном расчетном расходе и расчетном наполнении и назначают ее в пределах между максимальными и минимальными скоростями течения.

Максимальной расчетной скоростью называют наибольшую допустимую скорость течения, не вызывающую снижение механической прочности материала труб при истирающем действии песка и твердых веществ, транспортируемых сточной жидкостью. Она допускается в металлических трубах не более 8 м/с, в неметаллических (керамических, бетонных железобетонных, асбестоцементных и др.) – 4 м/с. Для дождевой сети соответственно 10 и 7 м/с.

Минимальной расчетной скоростью (критической или самоочищающей) называют наименьшую допустимую скорость течения, при которой обеспечивается самоочищение труб и коллекторов. Минимальную расчетную скорость течения сточных вод принимают в зависимости от крупности содержащихся в них примесей, от гидравлического радиуса или от степени наполнения. Для бытовых и дождевых сточных вод минимальные скорости при наибольшем расчетном наполнении труб следует принимать по таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Минимальные расчетные скорости течения при расчетном наполнении

Диаметр труб, мм	150 ÷ 200	300 ÷ 400	450 ÷ 500	600 ÷ 800	900 ÷ 1200	1300 ÷ 1500	Свыше 1500
Скорость течения, м/с	0,7	0,8	0,9	1	1,15	1,3	1,5

Минимальную расчетную скорость движения осветленных или биологически очищенных сточных вод в лотках и трубах допускается принимать 0,4 м/с.

Для производственных сточных вод, близких по характеру взвешенных примесей к бытовым, минимальные скорости следует принимать как для бытовых, а в других случаях – по строи-

тельными нормам и правилам отдельных отраслей промышленности или по эксплуатационным данным. Чтобы обеспечить достаточные данные скорости, с увеличением диаметра труб увеличивают среднюю самоочищающую скорость потока.

Более плавное нарастание скоростей может быть определено по формуле проф. Н.Ф. Федорова:

$$v_H = 1,57 * R^{1/n}, \quad (6.24)$$

где v_H – минимальная незаиливающая скорость, м/с; $n = 3,5 + 0,5 * R$.

Самоочищающие скорости можно обеспечить назначением уклонов, которые принимают по СНиП 2.04.03–85* не менее:

для труб диаметром 150 мм – 0,008;

для труб диаметром 200 мм – 0,005.

Уклоны можно определить также по формулам (6.9) и (6.10), если в эти формулы подставить значение самоочищающей скорости v_H . Однако этот метод расчета очень сложен.

На практике для приближенных расчетов минимальные уклоны можно определять по более простой эмпирической формуле:

$$i_{\min} = 1 / d, \quad (6.25)$$

где d – диаметр трубы, мм.

Допускается в зависимости от местных условий для отдельных участков сети диаметром 200 мм принимать уклон, равный 0,004, а для труб диаметром 150 мм – 0,007. На начальных участках водоотводящей сети диаметрами 150 и 200 мм часто получают наполнения меньше допустимых вследствие незначительных расходов. Такие участки трубопроводов называют «безрасчетными», скорость движения жидкости в них не определяют, а уклоны принимают не ниже минимальных.

6.1.6. Приемы расчета безнапорных водоотводящих сетей

При расчете водоотводящей сети решают следующие основные задачи:

а) определяют уклон лотка трубопровода i , его диаметр d , мм, наполнение h/d и скорость v , м/с, по заданному расходу q , л/с, с учетом уклона местности вдоль трассы коллектора;

б) определяют расход q , л/с, и скорость v , м/с, в существующем коллекторе диаметром d , мм, проложенном с уклоном i при фактическом наполнении h/d .

Уклон лотка трубопровода i принимают равным уклону местности или минимальным i_{\min} , чтобы обеспечить самоочищающую скорость потока.

Если скорость v окажется меньше самоочищающей, то увеличивают уклон и решают задачу снова. При скорости выше максимально допустимой, уклон уменьшают. Расчет сети по формулам производят редко из-за его большой трудоемкости. Обычно при гидравлическом расчете самотечной и напорной водоотводящих сетей пользуются таблицами, графиками и номограммами. Подробные таблицы составлены Н.Ф. Федоровым, А.А. и Н.А. Лукиных по формуле акад. Н.Н. Павловского.

В таблицах для каждого диаметра труб d и уклона i приведены расходы q и скорости v при наполнении от 0,05 до 1 d . По заданному расходу q и уклону местности, принимая расчетную степень наполнения труб h/d , выбирают нужный диаметр трубы d , уточняют уклон i и определяют скорость v .

Недостатком табличного расчета является необходимость прибегать к интерполяции при определении наполнения и уклона.

Графики, составленные в прямоугольных координатах, неудобны в пользовании, так как для расчета каждого диаметра и площади сечения труб требуется самостоятельный график. Обилие графиков усложняет технику расчета.

Более совершенными являются номограммы в параллельных координатах, составленные по методу выравненных точек. При помощи одной номограммы с большой точностью можно определить обширный диапазон диаметров, уклонов, расходов и скоростей без интерполяции, как при полном, так и при частичном заполнении труб. По номограмме можно производить гидравлический расчет напорной и безнапорной водоотводящих сетей.

Следует отметить, что конечный результат при пользовании различными номограммами и таблицами почти совпадает и находится в пределах точности коэффициентов шероховатости n , принятых для составления номограмм и таблиц, а поэтому все рекомендуемые таблицы и номограммы могут применяться для расчета коллекторов и сети.

6.1.7. Расчет местных сопротивлений в водоотводящей сети

При движении жидкости в самотечной водоотводящей сети необходимо учитывать местные сопротивления в поворотных и соединительных лотках смотровых колодцев и на перепадах. Местные сопротивления вызывают подпоры в сети, что является недопустимым, так как при этом уменьшается скорость потока, выпадают взвешенные вещества и быстро заиливаются лотки трубопроводов на значительной длине. Наиболее резкое снижение скорости наблюдается на участках перед поворотом потока и перед присоединением боковых притоков.

Поэтому при гидравлическом расчете самотечных коллекторов диаметром более 500 мм на поворотах при слиянии потоков в случаях, когда диаметр присоединения равен не менее 350 мм и имеются перепады на основном коллекторе, рекомендуется учитывать местные сопротивления.

Местные потери напора h_m в самотечных и напорных трубопроводах можно определить по величине скоростного напора перед местным сопротивлением ($v_1^2/2g$) или после него ($v_2^2/2g$):

$$h_m = \xi^*(v_1^2/2g) = \xi^*(v_2^2/2g), \quad (6.26)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; v – средняя скорость потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Установлено, что коэффициент местных сопротивлений зависит от числа Рейнольдса:

$$\xi = f(\text{Re}). \quad (6.27)$$

Коэффициенты местных сопротивлений в напорных трубопроводах принимают по таблице 6.4, а в поворотных и соединительных колодцах самотечной сети вычисляют по формулам, приведенным в работах Н.Ф. Федорова.

Практически местные потери напора в поворотных колодцах достигают 1,5÷3 см, а в соединительных колодцах – 6 см в зависимости от расходов, скорости течения и формы сопряжения потоков. Поэтому в поворотных колодцах следует давать дополнительный уклон поворотному лотку в зависимости от местных потерь напора, а в соединительных камерах необходимо понижать

лоток основного коллектора на величину, равную сумме увеличения глубины потока (ввиду прибавления расхода) и местных потерь напора при сопряжении потоков, вычисленных с учетом результатов исследований Н.Ф. Федорова.

Таблица 6.4 – Значения коэффициента местного сопротивления

Местные сопротивления	ξ
При плавном входе в канал	0,1
То же, в трубу при острых кромках	0,5
При выходе из трубы под уровень воды	1
В задвижке:	
открытой полностью	0;05
открытой на 3/4	0,26
открытой на 1/2	2,06
В обратном клапане	5
В отводе с углом:	
30°	0,07
45°	0,18
75°	0,63
В колене	0,98

6.1.8. Гидравлический расчет напорных трубопроводов

Движение воды в напорных трубопроводах происходит полным сечением. Расчет напорных трубопроводов и дюкеров сводится к выбору экономичных диаметров трубопроводов и определению потерь напора. Диаметр трубопровода вычисляют из формулы постоянства расхода (6.7) по расчетному расходу q , задавая экономичными скоростями течения и, рекомендуемыми в курсе «Водоснабжение» и связанными соотношениями:

$$q = v * \omega = v * (\pi * d^2 / 4), \quad (6.28)$$

$$d = ((4 * q) / (\pi * v))^{1/2}, \quad (6.29)$$

$$v = q / \omega = (4 * q) / (\pi * d^2). \quad (6.30)$$

Полная потеря напора в напорном трубопроводе H состоит из потери на трение по длине труб $h_{тр}$ и суммы потерь на преодоление местных сопротивлений $\sum h_m$, т. е.

$$H = h_{тр} + \sum h_m. \quad (6.31)$$

Потери напора на трение по длине составляют:

$$h_{тр} = I * L = L * ((\lambda / 4 * R) * (v^2 / 2 * g)) = L * ((\lambda / d) * (v^2 / 2 * g)), \quad (6.32)$$

где L – длина трубопровода, м; I – единичная потеря напора или гидравлический уклон, определяемый по формуле (6.10); λ – коэффициент сопротивления трению, определяемый по формулам (6.20) и (6.21). При движении сточных вод в условиях шероховатой зоны турбулентного режима потери напора по длине рекомендуется определять по формуле:

$$h_{тр} = L * (v^2 / (C * R)). \quad (6.33)$$

Обычно для подсчета потерь напора по длине пользуются теми же формулами, таблицами и номограммами, что и для расчета водоотводящей сети с учетом полного наполнения труб. Для приближенных расчетов местные сопротивления $\sum h_m$ длинных трубопроводов принимают равными 10÷15 % потерь на трение $h_{тр}$. Тогда полные потери напора по формуле (6.31) принимают:

$$H = 1,1 * I * L \text{ или } H = 1,15 * I * L. \quad (6.34)$$

При расчете дюкеров или коротких трубопроводов, в которых потери на местные сопротивления значительны и соизмеримы с потерями по длине, необходимо детально учитывать все местные сопротивления по формуле (6.26), а значения коэффициентов местных сопротивлений ξ выбирать по таблице 6.4. Полные потери напора в дюкере складываются из суммы потерь на входе в трубу (решетка, уменьшение сечения и др.), сопротивлению по длине, на поворотах и на выходе из дюкера.

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОЙ ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ

7.1. Принципы проектирования, трассировки и реконструкции водоотводящей сети

В практике проектирования решают две задачи: проектирование вновь или реконструкцию и расширение существующих систем водоотведения. При этом проектные решения должны отвечать высоким современным техническим требованиям, способствовать внедрению в строительство индустриальных методов производства работ, сборных укрупненных элементов и эффективных конструкций и материалов. От принятых в проекте решений зависят: объем строительных и монтажных работ, экономические показатели строительства и эксплуатации возводимых сооружений.

Основным исходным материалом для разработки проекта системы водоотведения является проект районной планировки или проект планировки и застройки населенного пункта (города), а для проектирования системы водоотведения промышленного предприятия – генеральный план предприятия, утвержденные в установленных законом инстанциях. Границы территории на промышленных предприятиях, в которых планируется проектирование и строительство системы водоотведения, обычно определяют в пределах размещаемых цехов и бытовых помещений, а в городах и поселках – в пределах размещения застройки или в пределах, предусмотренных в задании на проектирование.

Проектирование водоотводящей сети начинают с разбивки территории города на бассейны водоотведения по водоразделам, а затем выбирают и согласовывают с органами Государственного санитарно-эпидемиологического и водного надзора площадку для размещения очистной станции и место выпуска очищенных сточных вод в водный проток.

При выборе места для размещения очистных станций необходимо учитывать долговременные перспективы развития и стремительный рост населения и особенно территории городов,

чтобы станции не оказались в зоне застройки. При проектировании водоотводящей сети по возможности принимают минимальное ее заглубление и самотечный режим движения бытовых и производственных сточных вод. Намечают трассу главного коллектора и трассы коллекторов бассейнов водоотведения, выявляют районы, для которых требуется перекачка сточных вод, выбирают площадки для размещения насосных станций и намечают принципиальную схему водоотведения города по бассейнам водоотведения.

Границы отдельных бассейнов водоотведения наносят на план населенного пункта с горизонталями. Их определяют по рельефу местности и проекту вертикальной планировки города. При плоском рельефе местности границы бассейнов назначают исходя из условий возможно большего охвата территории самотечной сетью при наиболее целесообразной глубине заложения главного коллектора.

По бассейнам водоотведения выявляют направление движения сточных вод и районы, где требуется перекачка сточных вод. Перекачку сточных вод предусматривают лишь в случае нецелесообразности их самотечного транспортирования при заложении сети на большой глубине, неудовлетворительных грунтовых условий и т. д., а также при отсутствии возможности самотечной подачи сточных вод на очистные сооружения.

Трассировкой называют начертание водоотводящей сети в плане. Это один из ответственных этапов при составлении схемы водоотведения. От принятых принципов трассировки зависит стоимость системы водоотведения. На выбор трассы сети влияют рельеф местности и вертикальная планировка; принятая система водоотведения и число водоотводящих сетей; перспективы развития и очередность строительства; грунтовые условия; характер застройки кварталов; ширина улиц; напряженность движения по ним; насыщенность подземными сооружениями; места расположения промышленных предприятий.

Трассировку водоотводящей сети производят следующим образом: сначала трассируют главный и отводной коллекторы, подающие воду на очистные станции; затем – коллекторы бассейнов водоотведения; в последнюю очередь – уличную сеть.

При трассировке коллекторов и сети исходят из условий самоотечного водоотведения возможно большей части населенного места при минимальной их протяженности.

На общее направление главного и отводного коллекторов влияет место расположения очистной станции и выпуска сточных вод. В очень крупных городах и городах с плоским рельефом местности может оказаться целесообразным устройство нескольких насосных и очистных станций. Число главных и отводных коллекторов, а также их направление будут зависеть от числа и места расположения очистных станций.

Главные коллекторы трассируют по тальвегам, по набережным рек и ручьев, учитывая при этом возможность присоединения коллекторов бассейнов водоотведения и всех боковых присоединений без излишнего заглубления главного коллектора. При плоском рельефе местности коллекторы трассируют по возможности посередине бассейна.

Коллекторы больших диаметров целесообразно трассировать по проездам со слабо развитой подземной сетью городских сооружений и небольшим движением городского транспорта. При трассировке коллекторов следует иметь в виду, что чем больше диаметр коллектора, тем меньший уклон требуется для создания самоочищающей скорости.

Следует избегать прокладки длинных параллельных коллекторов с малым расходом сточных вод. В пределах застройки все коллекторы трассируют по городским проездам в зеленых или в технических зонах. Исключение допускают для бассейнов, в которых направление городских проездов не совпадает с тальвегами. Такие отступления должны быть согласованы с органами, ведающими планировкой города.

При проектировании обычно разрабатывают несколько возможных вариантов схем трассировки водоотводящих коллекторов и выбирают наиболее выгодный по технико-экономическим показателям при равноценности вариантов по санитарно-техническим показателям.

Уличную сеть трассируют по проездам и внутри кварталов по наикратчайшему направлению от водоразделов к тальвегам с уклоном, по возможности параллельным поверхности земли,

уменьшая до минимума глубину заложения сети, особенно при наличии грунтовых вод и пlyingунов. Наиболее трудно трассировать водоотводящую сеть при плоском рельефе местности, когда даже при незначительном протяжении водоотводящих линий последние получают большое заглубление.

При квартальной застройке уличную сеть наиболее часто трассируют по пониженной стороне квартала. В этом случае значительно сокращается длина уличной сети и обеспечивается присоединение всех зданий жилого квартала. Однако возможна трассировка по объемлющей и внутриквартальной схемам. При объемлющей схеме водоотводящую сеть трассируют по проездам, опоясывающим квартал со всех сторон. Ее принимают при плоском рельефе местности, больших размерах кварталов и при отсутствии застройки внутри кварталов. По внутриквартальной схеме водоотводящую сеть прокладывают через кварталы – от выше расположенных к ниже расположенным. При этой схеме по сравнению с объемлющей получается более экономичное сочетание дворовой водоотводящей сети с уличной, сокращается на 30÷40 % длина уличной сети и снижается на 10÷20 % стоимость строительства.

Прогрессивным способом является прокладка внутренних водоотводящих сетей под зданием в техническом подполье с выпуском сточных вод с торца здания во внутриквартальную сеть. Этот способ прокладки позволяет сократить протяженность внутриквартальных сетей до 40÷45 %, число смотровых колодцев в 3÷4 раза и уменьшить стоимость строительства в 2,3÷2,5 раза по сравнению с внутриквартальной застройкой и выпуском внутренней системы водоотведения из каждой секции здания.

При трассировке водоотводящих сетей следует по возможности избегать пересечений (или сводить к минимуму их число) с водными протоками, железнодорожными путями и всякого рода подземными сооружениями, так как устройство этих пересечений сложно, связано с затратой больших средств и вызывает затруднения в эксплуатации. В таких случаях иногда целесообразно трассировать два параллельных коллектора по обеим сторонам ручья, оврага, реки, линии железной дороги или широкого проезда.

На проездах шириной более 30 м также допускают прокладку двух параллельных линий, что обосновывается технико-экономическими расчетами.

На трассировку водоотводящих сетей влияет принятая система водоотведения.

При полной раздельной системе водоотведения предусматривают прокладку по проездам двух сетей – дождевой и бытовой.

При неполной раздельной системе оставляют трассу для последующей прокладки коллекторов дождевой системы водоотведения.

Дождевую систему водоотведения трассируют так, чтобы расстояние до места выпуска сточных вод в ближайший водоем или в тальвег было наименьшим.

При общесплавной системе водоотведения главный коллектор трассируют вдоль берега водотока или тальвега, в которые можно сбрасывать часть сточных вод через ливнеспуски во время сильных ливней.

Необходимо по возможности избегать трассировки сетей и особенно коллекторов в неблагоприятных грунтовых условиях, в слабых и скальных грунтах с большим притоком грунтовых вод. Такие участки обходят, применяют прокладку коллекторов на большой глубине в более надежных грунтах методом щитовой проходки или устраивают станции перекачки.

Места расположения насосных станций следует назначать с учетом санитарных требований и планировки населенного пункта. При пересеченном рельефе местности иногда оказывается целесообразным вместо устройства станции перекачки пере-сечь местную возвышенность туннелем небольшого протяжения. Большие единовременные затраты на сооружение туннеля компенсируются тем, что отпадают расходы по эксплуатации станции перекачки. Целесообразность укладки коллекторов и сети на больших глубинах по сравнению со строительством насосных станций при меньших глубинах заложения коллекторов и сети, необходимо обосновать технико-экономическим расчетом.

После начертания сети в плане составляют общую схему водоотведения, на которой помимо основных коллекторов и сети,

наносит места расположения насосных станций, очистных сооружений и выпусков. В последнее время намечены пути по оптимизации трассировки и начертания сети в плане с помощью компьютерных программ, связанных с перекачкой сточной жидкости насосами, и выбора мест размещения станций перекачки.

Значительную сложность представляют реконструкция и расширение уже сложившихся водоотводящих систем крупных городов с населением свыше 500 тыс. человек. Системы водоотведения крупных городов исторически развивались по полной раздельной системе, а водоотводящая сеть строилась по самотечно-напорной схеме с чередованием самотечных коллекторов мелкого заложения, большим количеством станций перекачки и напорных участков из стальных труб, имеющих ограниченный срок службы (20÷25 лет).

Такое конструктивное решение позволяет развивать раздельные системы водоотведения крупных городов постепенно без больших единовременных капитальных затрат. Однако дальнейшая реконструкция существующих систем водоотведения крупных городов по самотечно-напорной схеме нерациональна по следующим причинам:

а) многочисленность насосных станций снижает надежность системы и требует больших затрат электроэнергии;

б) коллекторы мелкого заложения прокладываются проходческими щитами в неблагоприятных геологических условиях на глубине 8÷10 м;

в) из-за отсутствия свободных территорий и необходимости периодической перекладки недолговечных напорных трубопроводов и переустройства действующих подземных коммуникаций нарушается работа городского транспорта, требуется снос строений и пересадка зеленых насаждений;

г) повышается требовательность к охране городских водоемов и возникает необходимость очистки загрязненного поверхностного стока.

Таким образом, при реконструкции существующей системы водоотведения крупных городов необходимо постепенно переходить от традиционной самотечно-напорной схемы к новой

надежной схеме с магистральными каналами глубокого заложения, трассируемыми через центры наибольшего притока сточных вод сложившихся систем. Такие схемы обеспечивают совместное отведение и очистку всех бытовых, производственных и загрязненных поверхностных вод, рациональное использование водных ресурсов и охрану окружающей среды.

В мировой практике с помощью коллекторов глубокого заложения реконструированы системы водоотведения в городах США и Европы. В России применены коллекторы глубокого заложения при реконструкции сложившихся полных раздельных систем водоотведения в Санкт-Петербурге, Москве и др.

На Украине широко развито строительство каналов глубокого заложения проходческими щитами диаметром 2,6 и 4 м на глубине 36÷70 м (г. Львов). В Харькове построено 22 км каналов глубокого заложения проходческими щитами диаметром 2,6; 3,2; 3,7 и 4 м на глубине 15÷55 м с единой насосной станцией диаметром 47 м, мощностью 1,4 млн м³/сут, находящейся на глубине 38,8 м. Это позволило без перестройки водоотводящей сети ликвидировать 16 насосных станций.

Кольцеванием коллекторов повышена надежность всей системы и облегчен осмотр и ремонт коллекторов.

7.2. Расположение водоотводящих трубопроводов в поперечном профиле проездов

Размещение водоотводящих сетей в поперечном профиле улиц должно согласовываться с расположением других подземных сооружений для предохранения соседних коммуникаций от повреждения при авариях и производстве строительных и ремонтных работ.

В связи с устройством усовершенствованных проездов на бетонном основании инженерные сети следует укладывать в зеленой или технической полосе проездов, под уширенными тротуарами и внутри кварталов способом совмещенных прокладок нескольких трубопроводов в одной траншее. Этот способ может снизить стоимость строительства сетей примерно на 3÷7 % про-

тив стоимости отдельных прокладок тех же сетей, так как расстояние между трубопроводами уменьшается. Водоотводящие сети трассируют параллельно красным линиям застройки, а при одностороннем размещении сети – по той стороне улицы, на которой имеется меньшее число подземных сетей и больше присоединений к системе водоотведения. На проездах шириной 30 м и более сети трассируют по обеим сторонам улицы, если это оправдывается экономическими расчетами.

Расположение водоотводящих сетей по отношению к зданиям и подземным сооружениям должно обеспечить возможность производства работ по укладке и ремонту сетей и защите смежных трубопроводов при авариях, а также не допускать подмыва фундаментов зданий и подземных сооружений при повреждении водоотводящих трубопроводов и исключить возможность попадания сточных вод в водопроводные сети. Расстояние в плане от напорных водоотводящих трубопроводов до обрезов фундаментов зданий, путепроводов, туннелей и сооружений должно быть не менее 5 м, а от безнапорных – не менее 3 м. Расчетное расстояние определяется по формуле:

$$L = (h / \operatorname{tg} \alpha) + (b / 2) + 0,5, \quad (7.1)$$

где h – расстояние между подошвой фундамента и лотком труб, м; α – угол естественного откоса грунта, град.; b – ширина траншеи, м.

Минимальное расстояние от водоотводящих сетей до подземных силовых кабелей должно быть 0,5 м; до кабелей связи – 1 м; до теплопроводов – 1÷1,5 м; до опор и мачт наружного освещения, контактной сети и сети связи – 1,5 м; до линий высоковольтных передач напряжением 35 кВ – 10 м; до деревьев ценных пород – 2 м.

При прокладке водоотводящих труб параллельно газопроводам расстояние в плане между стенками трубопроводов по СНиП должно быть не менее: при газопроводах низкого давления до 5 кПа – 1 м; среднего до 0,3 МПа – 1,5 м; высокого 0,3÷0,6 МПа – 2 м, 0,6÷1,2 МПа – 5 м.

При параллельной прокладке водоотводящих труб на одном уровне с водопроводными расстояние между стенками трубопро-

водов должно быть не менее 1,5 м при водопроводных трубах диаметром до 200 мм и не менее 3 м – при трубах большего диаметра. Если водоотводящие трубы укладываются на 0,5 м выше водопроводных, то расстояние (в плане) между стенками трубопроводов в водопроницаемых грунтах должно быть не менее 5 м.

При траншейной прокладке водоотводящих сетей параллельно трамвайным и железнодорожным путям, расстояние в плане от бровки траншей до оси рельса внутризаводских и трамвайных путей должно быть не менее 1,5 м, до оси ближайшего железнодорожного пути – не менее 4 м (но во всех случаях не менее чем на глубину траншеи от подошвы насыпи), до бордюрного камня автомобильных дорог – не менее 1,5 или 1 м до бровки кювета либо подошвы насыпи.

Водоотводящие трубопроводы при пересечении с хозяйственно-питьевыми водопроводными линиями, как правило, должны укладываться ниже водопроводных труб, при этом расстояние между стенками труб по вертикали должно быть не менее 0,4 м. Это требование может не соблюдаться при укладке водопроводных линий из металлических труб в кожухах (футлярах). Длина защищенных участков в каждую сторону от места пересечения должна быть в глинистых грунтах не менее 3 м, а в фильтрующих грунтах – 10 м.

Пересечение водопроводов дворовыми участками водоотводящих сетей допускается и над водопроводными линиями без соблюдения приведенных выше требований. В этом случае расстояние между стенками труб по вертикали должно быть не менее 0,5 м.

При очень развитом подземном хозяйстве под магистральными проездами крупных городов и промышленных предприятий или под проездами с интенсивным движением все инженерные сети, за исключением газопроводов, прокладывают в сборных железобетонных проходных коллекторных туннелях для подземных коммуникаций.

Прокладка подземных сетей в туннелях позволяет ремонтировать коммуникации без вскрытия проезжей части улиц и упрощает их эксплуатацию.

Коллекторы для подземных коммуникаций при открытом способе производства земляных работ устраивают прямоугольного сечения от 170×180 до 240×250 см из сборных железобетонных элементов, а при щитовой проходке – круглого сечения из железобетонных блоков-тюбингов.

7.3. Глубина заложения водоотводящих сетей

Стоимость устройства водоотводящей сети и сроки строительства в значительной степени зависят от глубины укладки водоотводящих труб. Поэтому очень важно установить минимальную глубину, на которой технически и экономически целесообразно по местным условиям прокладывать водоотводящую сеть. Заглубление сети вызывается необходимостью предохранить ее от промерзания и механических повреждений, а также обеспечить возможность присоединения объектов и других линий.

Опасность замерзания воды в водоотводящей сети значительно меньше, чем в водопроводной. По водоотводящей сети постоянно протекают сточные воды с температурой не ниже $+10 \div 14$ °С, с самых нижних участков и до верха вытяжных домовых стояков непрерывно движется теплый воздух, в связи с тем, что температура сточных вод зимой выше температуры наружного воздуха. Вокруг трубопровода создается тепловой пояс грунта.

Наименьшую глубину заложения труб принимают по опыту эксплуатации водоотводящих сетей в данном районе. Уменьшение глубины заложения труб против принятой в данном районе допускается при утеплении труб.

При отсутствии опыта эксплуатации для данных местных условий наименьшую глубину заложения лотка труб принимают:

для труб диаметром до 500 мм – на 0,3 м, а для труб больших диаметров – на 0,5 м меньше наибольшей глубины промерзания в данном районе, но не менее 0,7 м до верха трубы, считая от отметки планировки. Наименьшую глубину заложения лотка Н для труб различных диаметров d можно определить по формуле:

$$H = h_{\text{пром}} - (0,3 \div 0,5) \geq (0,7 + d), \quad (7.2)$$

где $h_{\text{пром}}$ – нормативная глубина промерзания грунта, которая принимается по схематической карте, рекомендуемой для суглинистых грунтов, м.

Для строительных площадок, сложенных из супесей, мелких и пылеватых песков, нормативную глубину промерзания принимают с коэффициентом 1,2. Начальную глубину заложения уличной сети H определяют в зависимости от глубины заложения дворовой или внутриквартальной сети по формуле:

$$H = h + i * (L + \ell) + Z_1 - Z_2 + \Delta, \quad (7.3)$$

где h – наименьшая глубина заложения сети в наиболее удаленном или невыгодно расположенном колодце, м; i – уклон дворовой или внутриквартальной линии; $L + \ell$ – длина дворовой или внутриквартальной водоотводящей линии от смотрового колодца уличной сети до наиболее отдаленного дворового колодца, м; Z_1 и Z_2 – отметки поверхности земли у колодца уличной сети и у наиболее удаленного колодца дворовой или внутриквартальной сети, м; Δ – разница в отметках между лотками дворовой линии и уличной сети, м.

Для предохранения сети от повреждений тяжелым транспортом минимальную глубину заложения уличной сети следует принимать не менее 1,5 м до верха трубы.

Наибольшая глубина заложения самотечных коллекторов при производстве работ открытым способом не должна превышать $6 \div 8$ м. При большей глубине коллекторы прокладывают способом щитовой проходки.

7.4. Определение расходов для расчетных участков водоотводящей сети

Водоотводящая сеть и коллекторы разбиваются на расчетные участки. Расчетным называют участок сети между двумя точками (колодцами), в котором расчетный расход является неизменным. Длину расчетного участка принимают равной длине квартала или участка сети от одного бокового присоединения до следующего. Расчетный расход сточных вод для каждого расчетного участка сети определяют как сумму расходов:

а) попутного, поступающего в расчетный участок от жилой застройки, расположенной по его длине (по пути);

б) транзитного, поступающего от расположенных выше кварталов;

в) бокового, поступающего от присоединяемых боковых линий;

г) сосредоточенного, поступающего в расчетный участок от отдельных крупных водопотребителей (промышленных предприятий, бань, прачечных и т. п.).

Попутный расход является переменным, возрастающим от нуля в начале участка до полной своей величины в конце участка; транзитный, боковой и сосредоточенный расходы, поступающие в начало участка, неизменны для всего расчетного участка.

Для упрощения расчетов условно считают, что попутный расход от жилых кварталов поступает в начало участка; при определении его величины принимают, что он пропорционален площади квартала или территории, где планируется проектирование и строительство системы водоотведения, тяготеющей к расчетному участку сети. Попутные расходы сточных вод от отдельных участков уличной водоотводящей сети определяют в зависимости от ее начертания.

При объемлющей схеме в водоотводящую сеть поступают сточные воды с площади квартала, прилегающей к этой линии. Площади намечают путем деления кварталов биссектрисами, проводимыми из каждого угла, и линиями, соединяющими точки пересечения биссектрис.

При начертании сети по пониженной стороне кварталов или по внутриквартальной схеме сточная жидкость поступает со всей площади расположенных выше кварталов, а поэтому необходимость деления площади кварталов биссектрисами отпадает.

Попутный расход $q_{\text{попутный}}$ получают умножением площади квартала $\omega_{\text{кв}}$ на удельный расход q_0 :

$$q_{\text{попутный}} = \omega_{\text{кв}} * q_0. \quad (7.4)$$

Определение транзитных и боковых расходов сводится к определению попутных расходов лежащих выше линий.

7.5. Проектирование высотной схемы водоотводящих сетей

Проектирование высотной схемы водоотводящих сетей заключается в составлении продольного профиля коллектора, в назначении начальных глубин заложения сети, уклонов и отметок в местах сопряжения труб в соединительных колодцах и камерах.

Профиль составляют одновременно с гидравлическим расчетом водоотводящей сети. Вначале вычерчивают в установленных масштабах профиль поверхности земли по трассам проектируемых сетей. На профиль переносят с плана расчетные точки, определяют длину расчетных участков. Одновременно заготавливают бланк, в который заносят результаты вычислений. Затем определяют начальное заглубление уличной сети и выявляют участки сети, диктующие наибольшую или наименьшую глубину заложения коллектора. Обычно на профиле к техническому проекту не дают разбивку всех колодцев, а указывают лишь расчетные точки, в которых изменяются расходы, уклоны и диаметры. Разбивку всех колодцев производят при разработке рабочих чертежей.

При проектировании высотной схемы прокладки сетей необходимо стремиться к тому, чтобы обязательно соблюдались самоочищающие скорости, и не было больших заглублений сети.

Иногда целесообразно изменять трассировку, смещая ее по горизонталям и проверяя по нормативам минимальные скорости для данного диаметра труб с тем, чтобы выбрать наиболее выгодное заглубление коллектора. Необходимые уклоны назначают по уклону местности. Соединение труб в колодце по высоте принимают в соответствии с отметками уровня в них воды, не допуская подпора в лежащих выше участках сети.

Существуют два способа соединения труб по высоте: по уровням воды и по шельгам труб (шельга в шельгу). Шельга (верхняя образующая свода) трубы меньшего диаметра должна совпадать с шельгой трубы лежащего ниже участка. Трубопроводы разных диаметров соединяют в колодцах, как правило, по шельгам труб. Во всех случаях дно лотка присоединяемых труб не должно быть ниже лотка отводящей трубы.

Соединение труб различных диаметров по уровням воды следует рекомендовать в тех случаях, когда соединение по шельгам вызывает излишнее заглубление сети (при плоском рельефе).

В рабочих чертежах план водоотводящей сети составляют в масштабе 1:500, причем для проездов пользуются отдельными планшетами по трассе водоотводящих линий.

На чертеже наносится точное расположение водоотводящих линий со всеми смотровыми колодцами. Расположение последних определяют засечками от двух углов зданий или иных закрепленных точек. Засечки должны быть длиной не более 20 м (длина мерной стальной ленты) и не должны пересекаться под очень тупым углом во избежание ошибок. На плане указывают диаметр труб, их уклоны и расстояния между колодцами, расположение всех существующих наземных и подземных сооружений, пересекающих водоотводящие линии или находящихся в непосредственной близости к ним.

В отличие от профиля, составленного для технического проекта, в рабочем продольном профиле указываются отметки планировки, материал труб, основание под трубами (естественный грунт, песчаное, щебеночное, ростверк, бетонная подушка и пр.), род покрытий (асфальт, мостовая, земля и пр.), расположение трассы (наименование улиц, полосы отчуждения железной дороги, проектируемые проезды, парки, территории фабрик и пр.), углы поворотов, разрезы грунтов по скважинам. На стадии разработки рабочих чертежей желательно (а для коллекторов, сооружаемых щитовым способом, обязательно) совмещение проектного профиля коллектора с геологическим разрезом на трассе.

На профиле нужно подробно указать характеристику грунтов, их несущую способность, уровень грунтовых вод, величины коэффициентов фильтрации. Эти данные дают возможность выбрать материал труб, конструкции основания и сборных железобетонных элементов, методы производства работ и установить стоимость строительства.

Вместо номеров расчетных точек указываются номера смотровых колодцев. Все смотровые колодцы в пределах канализуемой территории должны иметь единые порядковые номера. Но-

мер смотрового колодца, установленный в проекте, остается за ним в течение всего периода эксплуатации. На профиле показывают расположение всех подземных сооружений, пересекающих трассу водоотводящей линии, и отметки их заложения. При совмещенной прокладке нескольких трубопроводов различного назначения (бытовая и дождевая сети водоотведения, водопровод, газопровод, теплофикация) рекомендуется составлять единый профиль по трассе с нанесением проектируемых трубопроводов. В этом случае на едином профиле для каждого проектируемого коллектора указывают все необходимые расчетные данные – L , d , i , q , h/d , v , отметки лотка труб, материал последних, конструкцию основания, расстояние между колодцами. Такое совмещение на одном профиле трасс коллекторов различного назначения значительно облегчает размещение боковых присоединений и решение узлов пересечения с другими коммуникациями.

7.6. Конструирование водоотводящей сети

Основные правила конструирования сети заключаются в следующем. Водоотводящие трубопроводы между смотровыми колодцами следует проектировать прямолинейными. В местах изменения направления трубопровода в плане (на поворотах) или в профиле (при изменении уклона), в местах изменения диаметра труб и присоединения одной или нескольких труб, а также на прямых участках сети через определенное расстояние устраивают смотровые колодцы.

Трубы и коллекторы в колодцах соединяют в виде открытых лотков, выполненных по плавным кривым. Лотки в колодцах на прямых линиях должны быть строго прямолинейными, а на поворотах – выполненными по кривым с плавным закруглением не менее диаметра трубы.

Угол между присоединяемой и отводящей трубой должен быть не менее 90° , чтобы не создавать добавочных местных сопротивлений и не вызывать подпора в сети.

Повороты трассы коллекторов диаметром 1200 мм и более допускается предусматривать по кривым с радиусом не менее

пяти диаметров. Смотровые колодцы в этом случае следует устанавливать в начале и в конце кривой.

Трубопроводы разных диаметров следует соединять в колодцах по шельгам труб. Боковые присоединения к водоотводящим коллекторам, осуществляемые устройством вертикальных перепадов, могут присоединяться под любым углом. Необходимо учитывать местные потери напора в колодцах и не допускать подтопления сети.

Расчетная скорость в коллекторах должна быть возрастающей по течению. Уменьшение расчетной скорости (но не менее критической) допускается только после перепадных колодцев. При скоростях более 1,5 м/с, допускается их снижение на 15÷20 % на нижележащем участке без устройства колодцев-гасителей скорости.

Расчетная скорость в боковом присоединении не должна быть больше, чем в основном коллекторе.

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 основной трубе. Трубы очень малых диаметров, в частности, дворовые и внутриквартальные, присоединяются 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.

Допускается присоединение дворовых и внутриквартальных сетей и выпусков из зданий к уличным коллекторам без устройства смотрового колодца (бесколодезное присоединение) при условии, что длина присоединения от контрольного колодца или дождеприемника до коллектора не превышает 15 м и скорость движения сточной жидкости в коллекторе составляет не менее 1 м/с.

Конструкции присоединений без колодцев не должны вызывать изменения очертания трубы основного коллектора и создавать препятствия для прохода приборов при прочистке сети.

С увеличением уклона трубопровода при трубах диаметром 250 мм и более допускается уменьшение диаметра. При этом раз-

ница в размерах труб диаметром до 300 мм для бытовой системы водоотведения и до 500 мм – для дождевых и общесплавных сетей не должна превышать одного размера по сортаменту, а для труб диаметром от 300 мм и выше – для бытовой системы водоотведения и от 500 мм и выше – для дождевых и общесплавных сетей не должна превышать двух размеров по сортаменту. Например, коллектор диаметром 400 мм при большом уклоне можно заменить коллектором диаметром 300 мм. При резком увеличении уклонов трубопроводов допускают устройство быстроток, после которых устраивают перепадные колодцы с водобоем для гашения скорости течения жидкости.

8. ТРУБЫ И КОЛЛЕКТОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

8.1. Требования, предъявляемые к материалу труб и каналов

Трубы и каналы, применяемые в системах водоотведения для отведения сточных вод, должны обладать прочностью, долговечностью, зависящей от их способности хорошо противостоять истиранию и коррозии, водонепроницаемостью, удовлетворять гидравлическим требованиям, обеспечивать возможность применения индустриальных методов строительства и требовать минимальных затрат средств и материалов для их выполнения.

Прочность труб определяется их способностью противостоять внешним нагрузкам и внутреннему давлению. Внешние нагрузки могут быть постоянными (от веса земли) и временными, возникающими при движении транспорта. Внутреннее давление определяется режимом работы водоотводящей сети.

В безнапорных самотечных трубопроводах внутреннее давление, возникающее при засорении сети, измеряется высотой столба воды от лотка до поверхности земли. Дюкеры и напорные водоводы должны выдерживать расчетное внутреннее давление.

Материал труб и каналов не должен истираться при механическом воздействии твердых частиц, транспортируемых сточной водой по лотку. Во избежание коррозии вследствие агрессивного действия сточных и грунтовых вод материал водоотводящих труб должен быть кислотостойким и щелочестойким и не разрушаться под действием блуждающих токов.

Водонепроницаемость труб и каналов определяется отсутствием инфильтрации воды (через стенки из грунта в трубы) и ее эксфильтрации (из труб в грунт).

Трубы круглого сечения с гладкой внутренней поверхностью обеспечивают наибольшую пропускную способность и наилучшие гидравлические условия для протекания сточных вод.

Наиболее рациональным является применение труб и коллекторов, при укладке которых обеспечиваются ведение строительства индустриальными методами с применением сборных укрупненных элементов заводского изготовления, широкая механизация работ и использование местных строительных материалов.

Сборные железобетонные конструкции, трубы и изделия должны изготавливаться из предварительно напряженного железобетона заводским способом; иметь простую форму, удобную для изготовления, транспортирования и монтажа, и наименьшее количество типоразмеров; быть взаимозаменяемыми, коррозионноустойчивыми и водонепроницаемыми в обычных условиях, а также при воздействии статических и динамических нагрузок и изменении температур.

8.2. Водоотводящие трубы

Материал труб для устройства водоотводящих сетей следует выбирать в соответствии с назначением трубопроводов, а также с составом сточных и грунтовых вод. Самотечную водоотводящую сеть укладывают из керамических, асбестоцементных и безнапорных железобетонных труб, а коллекторы больших диаметров – из железобетонных труб или сборных железобетонных элементов. Для напорных трубопроводов применяют металлические, асбестоцементные, напорные железобетонные, пластмассовые, а иногда фанерные трубы.

Керамические трубы применяют с внутренним диаметром 150÷500 мм и длиной 800÷1200 мм по ГОСТ 286–64. На наружной поверхности конца трубы и на внутренней поверхности раструба имеются рифли (борозды), которые не покрываются глазурью, что способствует лучшему сцеплению трубы с материалом, применяемым для заделки стыка. Качественное испытание и проверку соответствия установленным размерам производят, руководствуясь техническими условиями на приемку труб по ГОСТ 286–64. Керамические трубы получили распространение во всех системах водоотведения из-за достаточной прочности, водонепроницаемости, долговечности и способности противостоять хи-

мическим и температурным воздействиям; они имеют гладкие стенки и удобны в укладке.

Керамические кислотоупорные трубы (ГОСТ 585–67) применяют для отведения производственных сточных вод с кислой реакцией. Их изготавливают раструбными диаметром 50÷300 мм и длиной 300÷1500 мм из кислотоупорной глины. Кислотоупорные трубы диаметром 50÷300 мм, длиной 300÷2000 мм и фасонные части к ним выполняют также из фаолита, ферросилида, антихлора (ГОСТ 203–41*).

Для устройства дренажных сетей изготавливают керамические дренажные трубы без раструбов диаметром 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 и 250 мм и длиной 333 мм (ГОСТ 8411–62*).

Асбестоцементные трубы находят широкое применение в строительстве водоотводящих сетей. Для устройства напорных трубопроводов, илопроводов и дюкеров, прокладываемых через суходолы, применяют асбестоцементные водопроводные трубы диаметром 50÷500 мм и длиной 2,95÷3,95 м (ГОСТ 539–73), рассчитанные на внутреннее давление 0,3; 0,6; 0,9 и 1,2 МПа марок ВТ3, ВТ6, ВТ9 и ВТ12.

Для устройства самотечных сетей применяют безнапорные трубы с гладкими концами (ГОСТ 1839–72).

Безнапорные трубы соединяют на асбестоцементных муфтах, изготавливаемых из той же массы, что и трубы.

Асбестоцементные трубы обладают высокой водонепроницаемостью, хорошо сопротивляются растягивающим усилиям и давлению, легко подвергаются обработке (распиловке, обточке, сверловке), имеют очень гладкую поверхность и малотеплопроводны. Благодаря большой плотности материала эти трубы мало подвержены химическому воздействию различных реагентов. Они очень легки (масса асбестоцемента в 3,5 раза меньше массы чугуна). Большая длина асбестоцементных труб позволяет значительно уменьшить количество стыков на трубопроводе. Стоимость этих труб значительно ниже стоимости железобетонных, керамических и металлических. Однако асбестоцементные трубы хрупки и слабо сопротивляются истиранию песком.

Железобетонные трубы изготавливают безнапорными и напорными.

Железобетонные безнапорные трубы (ГОСТ 6482–71), изготовляемые методами центрифугирования или вибрирования, предназначены для подземных безнапорных коллекторов, транспортирующих самотеком бытовые и атмосферные, а также грунтовые и производственные неагрессивные воды. Трубы изготовляют круглыми раструбными марки РТ, и фальцевыми марки ФТ, а также с плоской подошвой, круглые РТП и фальцевые ФТП, нормальной прочности (н – нормальные) и повышенной прочности (у – усиленные).

Раструбные трубы изготовляют со стыковыми соединениями двух типов:

А – с заделкой стыков путем зачеканки герметическими уплотнителями;

Б – с заделкой стыков с помощью уплотняющих резиновых колец, поставляемых в комплекте с трубами. При заделке стыковых соединений резиновыми кольцами к маркировке труб добавляется буква К, а диаметр условного прохода обозначается цифрой в дециметрах. К применению разрешаются трубы диаметром условного прохода 700, 900, 1500 и 2500 мм, не предусмотренные в новом нормативе, но изготовляемые на действующих заводах по старому ГОСТ 6482–63. Траншейная прокладка трубопроводов из круглых труб нормальной прочности допускается на глубину (над верхом трубопровода) до $3\div 6$ м, а усиленных – до $5\div 6$ м; труб с плоской подошвой нормальной прочности – до $4\div 6$ м, а усиленных – до $6\div 8$ м с учетом степени уплотнения грунта, размеров временной нагрузки на поверхности земли и типа основания.

Трубы изготовляют из бетона марки не ниже 300, а испытание на прочность производят по ГОСТ 10180–67. Испытание труб на водонепроницаемость проводят при давлении 50 кПа в течение 10 мин. Труба считается выдержавшей испытание, если не обнаружено просачивания воды сквозь стенки трубы в виде отдельных капель. Если транспортируемая жидкость или грунты являются агрессивными по отношению к бетону труб, то трубы должны изготовляться из бетонов, стойких к данному виду агрессии.

В практике находят применение безнапорные трубы с гладкими концами, соединяемые на муфтах. Трубы и муфты изготовляют из бетона марки не ниже 300.

Железобетонные напорные трубы вибропрессованные (ГОСТ 12586–67) и центрифугированные (ГОСТ 16953–71) рассчитывают на высокое внутреннее давление от 0,2 до 1,5 МПа и применяют для прокладки напорных трубопроводов и дюкеров. Трубы изготовляют раструбными и с гладкими концами с предварительно-напряженной арматурой и со стальным сердечником длиной до 5 м на рабочее давление до 1 МПа.

На наружной поверхности железобетонных напорных и безнапорных труб, поставляемых на строительство, должны быть четко нанесены несмываемой краской товарный знак изготовителя, марка трубы, дата изготовления, штамп ОТК и масса трубы.

В полимержелезобетонных напорных трубах в железобетонную конструкцию заанкерена полимерная пленка, способствующая повышению пропускной способности трубопроводов и обеспечивающая их коррозионную стойкость.

Металлические (чугунные водопроводные и стальные) трубы допускается применять в напорных и самотечных водоотводящих сетях при прокладке в труднодоступных местах строительства, в вечномерзлых, просадочных, набухающих и заторфованных грунтах, на подрабатываемых территориях и в карстовых условиях, в местах переходов через водные преграды, под железными и автомобильными дорогами, в местах пересечения с сетями хозяйственно-питьевого водопровода, при прокладке трубопроводов по опорам эстакад, в местах, где возможны механические повреждения труб.

Чугунные напорные трубы принимают по ГОСТ 5525–61** только раструбными, диаметром 50÷1000 мм и длиной 2÷5 м на нормальное (не более 1 МПа) и повышенное (не более 1,6 МПа) давление. Трубы, изготавливаемые методом центробежного и полунепрерывного литья, нормируются ГОСТ 9585–61. Промышленностью освоен выпуск чугунных напорных труб с быстро монтируемыми и равнопрочными соединениями на резиновых уплотнителях (4Н-РУ) диаметром 400÷600 мм и труб с раструбно-винтовыми и раструбно-стыковыми соединениями с резиновыми уплотнениями диаметром до 300 мм.

Стальные трубы применяют:

а) электросварные диаметром 426÷1420 мм (ГОСТ 10704–63* и ГОСТ 10707–63);

б) электросварные диаметром 400÷700 мм со спиральным швом (ГОСТ 8696–62); в) бесшовные горяче- и холоднокатаные диаметром до 800 мм (ГОСТ 8732–70), водогазопроводные (газовые) бесшовные и сварные диаметром до 150 мм (ГОСТ 3262–62). Стальные трубы изготовляют длиной до 24 м. Трубы со спиральным швом при небольшой толщине стенок обладают высокой прочностью.

Трубопроводы из стальных труб необходимо покрывать снаружи антикоррозионной изоляцией. На участках возможной коррозии надлежит предусматривать катодную защиту трубопроводов. Для повышения надежности напорных трубопроводов следует заменять стальные трубы напорными железобетонными, которые обладают в несколько раз большей долговечностью и не подвержены зарастанию.

Деревянные и фанерные трубы хорошо сопротивляются коррозии и истиранию; поэтому их применяют при устройстве быстротокотков и отводе сточных вод с механическими примесями, а также вод, температура и химический состав которых разрушающим образом действуют на бетон и керамику.

Деревянные просмоленные трубы хорошо сохраняются в подводных частях выпусков сточных вод в водоемы.

Фанерные трубы круглого сечения промышленность выпускает по ГОСТ 7017–64 диаметром 50÷300 мм и длиной 5÷7 м. Фанерные трубы применяют для устройства самотечных и напорных трубопроводов при рабочем давлении до 1 МПа. Они имеют облегченный вес, малую теплопроводность и благодаря большой длине малое количество стыков. Нормальный эксплуатационный срок службы фанерных труб при транспортировании агрессивных и горячих вод исчисляется десятками лет, так как они не поддаются воздействию сточных и грунтовых вод, а также блуждающих токов. Наиболее экономично применение длинномерных труб. При этом следует учитывать не только стоимость самих труб, но и затраты на их транспортирование и укладку в траншеях, на производство земляных работ и водоотлив.

В некоторых наиболее ответственных местах, а также в плывунах, при усиленном притоке грунтовых вод или при иных не-

благоприятных грунтовых условиях применение более дорогих пластмассовых, чугунных или напорных железобетонных длинномерных труб может в итоге оказаться более выгодным, чем применение более дешевых керамических труб длиной $0,8 \div 1,2$ м.

Укладка труб небольшой длины требует значительно больше времени и затрат на заделку стыков и водоотливов и на устройство надежного основания, чем укладка длинномерных труб.

8.3. Коллекторы и каналы

В общесплавных, отдельных, комбинированных и производственных системах водоотведения длительное время успешно эксплуатируются коллекторы и каналы больших сечений, построенные из кирпича в конце XIX и начале XX столетия.

Основные элементы кирпичных коллекторов любого сечения идентичны: верхнюю образующую часть называют сводом, нижнюю – лотком. Лотки заделывают в фундамент, который по бокам коллекторов доводят до половины их высоты. Конструкцию фундамента составляют подготовка, плита и стул. Подготовку выполняют из щебня, гравия или бетона; плиту – из бетона или железобетона. Толщину плиты и марку бетона определяют расчетом в зависимости от устойчивости грунтов и размеров канала. Боковая часть коллектора называется стулом. Ширину его определяют статическим расчетом.

Кирпичные коллекторы круглого сечения диаметром $600 \div 1800$ мм с обычным или уширенным стулом, а при больших размерах – полуэллиптического (шатрового) сечения, лучше отвечающего статическим условиям работы при хорошем качестве кирпича, долговечны и хорошо сопротивляются агрессивному действию грунтовых и сточных вод. Однако конструкция их массивна, они неиндустриальны и дороги, для их сооружения требуется высококачественный прямой и клинчатый кирпич, а также много цемента (примерно столько же, сколько требуется на изготовление железобетонной трубы такого же диаметра). По этой причине, а также из-за невозможности механизации работ строительство их прекращено.

С переходом на индустриальные методы сборного строительства коллекторов из крупноразмерных сборных железобетонных элементов заводского изготовления (блоков, труб, колец и тюбингов) коллекторам придают форму круглого и прямоугольного сечения. Стул, плиту и свод иногда объединяют в одном объемном элементе.

Сборные коллекторы на 35÷50 % дешевле кирпичных и железобетонных коллекторов, выполняемых на месте. В последнее время круглые коллекторы большого диаметра укладывают при открытом способе производства работ из стандартных длинномерных железобетонных труб марок РТ, РКТ и ФТ или из тех же труб с плоской подошвой; прямоугольные – из сборных железобетонных элементов. Прямоугольные коллекторы применяют для строительства бытовой и дождевой водоотводящей сети, а также для прокладки подземных коммуникаций.

Для строительства одно- и двухсекционных коллекторов применяют четыре элемента: наружные стеновые блоки длиной 1,8 м, плиты перекрытия шириной до 4 м, плиты днища шириной до 2,6 м и средние стеновые блоки. Из таких блоков собирают коллекторы различного поперечного сечения (от 2×2 до 3×4 м).

Для устройства плавных поворотов применяют специальные блоки или трапецеидальные вставки. Однако прямоугольные каналы перестали отвечать современным требованиям индустриальности строительства и не обеспечивают необходимой водонепроницаемости в стыковых соединениях. Основной конструкцией крупных водоотводящих коллекторов и водостоков должны быть круглые железобетонные безнапорные трубы, а для напорных – железобетонные напорные трубы, изготавливаемые методом виброгидропрессования и центрифугированием. Переход от прямоугольных каналов на круглые длинномерные трубы большого диаметра позволяет увеличить пропускную способность каналов до 10 %, сократить затраты на монтаж до 30÷50 % и обеспечить водонепроницаемость стыка.

Применение длинномерных труб с плоским основанием позволяет укладывать их непосредственно на бетонную подготовку и значительно уменьшает расход железобетона, так как отпадает необходимость в устройстве стула. Трудоемкость работ по

укладке длинных труб с плоским основанием оказалась в два раза меньше, чем при устройстве канала из круглых труб.

При строительстве коллекторов в районах старой и стесненной застройки на глубине 6 м и ниже целесообразно прокладывать их способом закрытой щитовой проходки. Коллекторы собирают круглого сечения из трапецеидальных или сегментных железобетонных блоков – тюбингов. При проходке туннелей щитами старых конструкций применяли тюбинги трапецеидальные, ширина которых обычно не превышала 300÷350 мм, а число их по кольцу обделки было 16÷20 шт.

Механизированные щиты новых унифицированных конструкций позволяют укрепить стенки туннелей укрупненными тюбингами в виде сегментов шириной 700÷800 мм с числом по кольцу обделки 6–8 шт. Тюбинги и сегменты изготовляют из бетона марки 400 на гранитном щебне крупностью не более 40 мм. Для обеспечения водонепроницаемости и повышения долговечности в каналах из тюбингов устраивают внутреннюю железобетонную рубашку из монолитного железобетона марки 400 на гранитном щебне, а при строительстве канала в водонасыщенных грунтах, кроме того, гидроизоляцию. Лоток рубашки железнят цементом марки 500.

Если требуется проложить коллектор значительно меньшего диаметра в туннеле, выполненном щитовым способом, чем наименьший диаметр проходческого щита, внутри блочной обделки туннеля после устройства железобетонной водонепроницаемой рубашки устраивают лоток из монолитного бетона или из сборных бетонных элементов, укладываемых на битумных мастиках.

Во всех случаях не следует стремиться уменьшать сечение коллектора до расчетного (если это не нарушает его гидравлический режим) из целесообразности дальнейшего развития системы водоотведения.

8.4. Соединения труб

Водонепроницаемость и долговечность водоотводящей сети достигаются тщательной заделкой стыковых соединений при укладке труб. Стыковые соединения труб должны быть водоне-

проницаемыми, достаточно надежными, прочными и стойкими против химического воздействия сточных и грунтовых вод, по возможности эластичными.

По эластичности стыковые соединения труб делят на два вида: гибкие и жесткие. Гибкие стыки допускают взаимное смещение звеньев труб в продольном направлении до $3\div 5$ мм и взаимный поворот труб в стыке на некоторый угол при сохранении водонепроницаемости. Гибкие стыки применяют на асбестоцементных напорных трубах с резиновыми уплотнительными кольцами и резиновым замком, а на железобетонных напорных трубах с надвижными металлическими фланцами.

Жесткие стыки не рассчитаны на продольные и взаимные перемещения труб; они значительно проще и дешевле гибких, а потому нашли широкое применение в самотечных водоотводящих сетях при соединении раструбных труб на раструбах и труб с гладкими концами на муфтах. Жесткие стыки состоят из уплотняющего материала и замка.

При соединениях на раструбах конец одной трубы вставляют в раструб другой. Свободный кольцевой зазор между ними на $1/3\div 1/2$ глубины раструба плотно забивают пеньковой прядью или каким-либо другим уплотняющим материалом, а остальную часть заполняют материалом, образующим замок, удерживающий уплотняющий материал в раструбе.

При соединении на муфтах гладкие концы двух труб вставляют в одну муфту, и зазоры между ней и трубой заделывают с двух сторон так же, как и раструбные. В качестве замка применяют асфальтовую мастику, асбестоцемент, цемент, откуда и стыки получают название асфальтовый, асбестоцементный, цементный. Абсолютно жесткими являются цементный и асбестоцементный стыки. Асфальтовый стык обладает некоторой эластичностью и допускает небольшие перемещения (при осадке) без повреждения труб. Асфальтовый стык является наиболее распространенным. Раструб стыка заливают расплавленной асфальтовой мастикой, состоящей из 3 частей естественного асфальта и $1\div 2$ части гудрона или битума марки БН-Ш.

При наличии в сточных водах растворителей битума, а также при температуре сточных вод выше $+40$ °С стыки заделывают

цементом или асбестоцементом. Асбестоцементные стыки являются жесткими, прочными и герметичными. Их применяют для соединения труб, укладываемых на надежных основаниях. Для заделки стыков рекомендуется применять расширяющийся цемент марок 300 и 400 с замедленным схватыванием, а при отрицательных температурах воздуха – быстрохватывающийся цемент тех же марок.

Большие затраты ручного труда, недолговечность пеньковой пряди и жесткая заделка раструбных труб вызвали необходимость разработки более индустриальных и надежных гибких соединений. В качестве уплотнительных материалов в таких соединениях применяются резиновые и пластмассовые кольца, при наличии которых на месте укладки требуется только ввести гладкий конец трубы в раструб.

Гибкие соединения керамических, бетонных и железобетонных раструбных труб диаметром до 1000 мм можно осуществлять на кольцах из поливинилхлоридной смолы (пластизола) или на резиновых прокладках и кольцах, а соединение бетонных раструбных и фальцевых труб – только на резиновых кольцах. При соединениях на пластизоле на наружной поверхности конца трубы и на внутренней поверхности раструба на заводе, изготовляющем трубы, устанавливаются конические кольца из поливинилхлоридной смолы. При сборке стыка на месте укладки в результате легкого горизонтального нажатия на конец трубы оба кольца заклиниваются и образуют плотный и гибкий стык. Стыки такой конструкции рекомендуются для труб диаметром до 1000 мм.

При соединении на резиновых прокладках и кольцах на заводе, изготовляющем трубы, в раструб плотно вставляют резиновую прокладку, а на конец трубы надевают резиновое кольцо. В результате горизонтального нажатия гладкий конец с кольцом вводят в раструб. Стыки такой конструкции рекомендуются для труб диаметром до 600 мм.

Соединение металлических труб также осуществляют тонкими резиновыми накатными прокладками с кольцом. Такую прокладку накладывают на трубу так, чтобы кольцо находилось на краю гладкого конца трубы. При введении гладкого конца трубы в раструб кольцо, благодаря рифленой поверхности, закручивает-

ся, утолщается и плотно закрывает раструб. Таким способом могут соединяться трубы диаметром до 300 мм.

Для напорных и самотечных трубопроводов из железобетонных раструбных труб можно применять стык с резиновой уплотнительной прокладкой желобчатого профиля. При сборке стыка резиновую прокладку укладывают на выступ гладкого конца железобетонной трубы пазом внутрь и заводят гладкий торец трубы в раструб, оставляя зазор 30÷40 мм между торцами труб. Внутреннее давление в трубах раздвигает паз прокладки и увеличивает плотность стыка. Небольшое перемещение труб не нарушает водонепроницаемости и прочности стыка. Такие стыки надежны при прокладке труб в слабых неустойчивых грунтах и районах подземных выработок, причем в этих случаях не требуется устройства сложных искусственных оснований. Фальцевые трубы соединяются резиновыми кольцами (одним или двумя), надеваемыми на скошенный конец трубы перед ее укладкой. Поверхность колец смазывают клеем, а затем с усилием соединяют концы труб. Кольца склеиваются, и стык приобретает водонепроницаемость, упругость и долговечность.

Железобетонные напорные трубы с гладкими концами соединяют на муфтах, а безнапорные и низконапорные трубы больших диаметров выполняют в виде монолитных железобетонных поясков, набиваемых на месте шириной до 25 см и высотой до 15 см.

Соединения из поясков не являются достаточно надежными из-за жесткости конструкции и не обеспечивают водонепроницаемости коллектора при возможных его деформациях. С целью повышения водонепроницаемости жесткого стыка фальцевые трубы большого диаметра соединяют с зазором (примерно равным 0,5 дм), заполненным цементно-песчаным раствором под давлением способом мокрого или сухого торкретирования. Для обеспечения повышенной непроницаемости устраивают легкоармированную муфту, выполняемую также способом торкретирования, что дает возможность получить жесткий водонепроницаемый стык.

Гибкое стыковое соединение, способно воспринимать возможные деформации коллектора без нарушения его герметичности. Конструктивное решение стыкового соединения заключается

в сварке закладных полиэтиленовых профилированных листов, установленных в концах труб по внутреннему периметру в момент их изготовления. Профилированные листы изготавливаются на экструзионной установке непрерывным выдавливанием разогретого полиэтилена низкой плотности через специальную головку. Листы утоплены ребрами внутрь в бетонное тело трубы, чтобы избежать влияния на них присутствующих в воде абразивных примесей. Для защиты этих листов от повреждения к ним приваривают профилированный лист с ребрами, обращенными внутрь трубопровода, покрытый изнутри цементно-песчаным раствором. Надежность стыковых соединений зависит от надежности оснований, уложенных под трубами и коллекторами.

8.5. Основания под трубы и коллекторы, укладываемые открытым способом

При анализе аварий на водоотводящих сетях было установлено, что причинами разрушения труб являются деформации оснований под трубами, вызванные неравномерными просадками грунтов. Грунт в естественном (ненарушенном) состоянии может служить надежным основанием для труб и коллекторов, заполненных водой, так как их масса не превышает массы вытесненной ими земли. Однако грунты по своему строению неоднородны, они могут быть сухими или насыщенными водой. При нарушении их природного равновесия глубокими выемками, а также откачкой воды или периодическим колебанием напорного горизонта грунты теряют устойчивость, приобретают подвижность и могут нарушить плотность среды, окружающей трубу.

Правильная строительная оценка грунтов при условии качественного выполнения работ исключает возможность образования местных просадок, вызывающих разрушение стыковых соединений, а иногда и трубопроводов.

Естественными основаниями для труб могут служить: средние и крупнозернистые пески, супеси в сухом состоянии, мелкий и крупный гравий, песок в смеси со щебнем или галькой, глины и тяжелые суглинки при отсутствии в их толще водоносных прослоек, а также скальные и близкие к ним по крепости породы.

Глинистые грунты, обладающие большим разнообразием, неоднородностью строения, способностью к пучению и размягчению при наличии в их толще песчаных водоносных прослоек, становятся вязкими, текучими, могут превращаться при избытке влаги в разжиженную массу и быть подвижными даже при небольшом количестве воды.

Крайне неустойчивы и ненадежны для укладки труб водонесные грунты из мелкого ила с примесью глинистых частиц, лёсс и лёссовидные суглинки, быстро и неравномерно теряющие несущую способность при насыщении водой, а также болотные и торфяные грунты, состоящие большей частью из продуктов разложения растительных остатков.

Для правильной строительной оценки грунтов необходимо на продольном профиле коллектора наносить гидрогеологический разрез и по нему выбирать конструкцию оснований в зависимости от естественного состояния грунтов, способов производства работ, глубины засыпки и размера труб.

Основания под трубы следует принимать в зависимости от несущей способности грунтов и фактических нагрузок. Во всех грунтах, за исключением скальных, плавунных, болотистых и просадочных II типа, как правило, следует предусматривать укладку труб при высоте засыпки до 6 м над верхом труб непосредственно на выровненное дно траншеи.

При укладке труб и коллекторов на сухой грунт необходимо, чтобы он на дне траншеи оставался в естественном (ненарушенном) и сухом состоянии. Ложе под трубы следует устраивать одновременно с их укладкой таким образом, чтобы оно было хорошо выровнено, и труба на всем своем протяжении плотно соприкасалась с грунтом ненарушенной структуры не менее чем на 1/4 окружности. Трубы, уложенные так, чтобы четверть их окружности соприкасалась с ложем, выдерживают большее давление (на 30÷40 %), чем трубы, уложенные на плоскую поверхность без выемки. Тщательная трамбовка грунта при засыпке пространства между трубой и стенками траншеи повышает сопротивление трубы раздавливанию на 20 %.

В супесчаных, суглинистых и глинистых сухих грунтах (с допускаемым давлением $P \geq 0,15$ МПа) основанием для всех

труб служит песчаная подушка, насыпаемая в выполненный для этой цели по дну траншеи лоток.

В мягкопластичных глинистых и суглинистых грунтах с коэффициентом пористости, равным единице, и в пылеватых грунтах средней плотности, насыщенных водой, при допуске давлении на грунт $P \leq 0,15$ МПа для прокладки тех же труб предусматриваются бетонная плита и стул с углом охвата 135° из бетона марки 200.

В свеженасыпных грунтах с ожидаемой неравномерной осадкой для предупреждения нарушения стыковых соединений труб основание следует устраивать из монолитного железобетона.

Толщину основания принимают: для труб диаметром до 1000 мм – 0,1 м; для труб диаметром 1200÷2400 мм – 0,15 м; и для труб диаметром более 2400 мм – 0,2 м.

Во всех случаях предусматривают засыпку трубы до 1/2 диаметра песчаным грунтом с тщательным трамбованием. При увеличении высоты засыпки до 12 м укладывают те же трубы, но для усиления устраивают железобетонный стул, охватывающий более 1/2 сечения трубы. Стул увеличивает сопротивление раздавливанию трубы в 1,5–2 раза.

В водонасыщенных грунтах, хорошо отдающих воду, керамические и железобетонные трубы укладывают на слой щебня, гравия или крупного речного песка толщиной 0,15÷0,2 м с дренажными лотками для отвода воды.

В скальных грунтах трубы укладывают на песчаную подушку толщиной не менее 10 см.

В илистых и торфянистых грунтах, в пlyingах и других слабых грунтах укладывают длинномерные трубы или устраивают искусственное основание под трубы всех диаметров, а стыки труб заделывают эластичными материалами.

В просадочных грунтах все трубы укладывают непосредственно на грунт, уплотненный на глубину 0,2÷0,25 м, с предварительным замачиванием грунта водой.

В целях отказа от устройства трудоемких и дорогостоящих искусственных оснований следует применять длинномерные низконапорные железобетонные трубы на гарантированное внутреннее давление 0,1 МПа с укладкой их непосредственно на грунт.

8.6. Устройство приточно-вытяжной вентиляции водоотводящей сети

В условиях эксплуатации в надводной части водоотводящих коллекторов скапливаются выделяющиеся из сточных вод пары воды и вредные газы: сероводород, аммиак, диоксид углерода, метан и др.

С производственными сточными водами в сеть поступают свободные неорганические и органические кислоты, углерод, аммиак, хлор и другие вредные примеси.

С дождевыми и сточными водами от гаражей в сеть поступают бензин, бензол и другие горюче-смазочные материалы.

Ряд анализов, проведенных в различных городах, указывает на присутствие в коллекторах диоксида углерода 8÷12 %, метана 1,4÷15 %, паров бензина 11÷12 %, сероводорода 0,135÷0,18 мг/л. В отдельных пробах содержание сероводорода доходит до 0,25 мг/л, а при прочистке коллектора – до 0,45÷0,77 мг/л. Особенно неблагоприятно действуют на бетонные стенки труб и колодцев сероводород, серная кислота и диоксид углерода. Сероводород и другие газы образуются в трубах и каналах в результате выделения из сточных вод или разложения выпавшего осадка. Сероводород вызывает газовую коррозию. Он растворяется в воде, конденсирующейся на верхней и боковой стенке труб, неомываемых сточными водами, и проникает в поры бетона.

В конденсате, образовавшемся на неомываемых стенках канала, происходит биохимическое окисление кислородом поглощенного из воздуха сероводорода. При этом происходят следующие реакции:

при избытке кислорода – $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;

при недостатке кислорода – $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Сера, образовавшаяся в процессе биохимического окисления, окисляется в серную кислоту или сульфаты:



Одной из составных частей цемента является оксид кальция CaO , который после затворения водой и гидратации переходит в гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Воздействие на бетон серной кис-

лоты вызывает образование новых соединений кальция, для которых характерно сильное увеличение в объеме, что ведет к разрушению бетона. К числу таких солей относятся гипс (сернокислый кальций CaSO_4), увеличивающийся в объеме почти в два раза против объема гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, и сульфоалюминат кальция $3\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-3\text{CaSO}_4-3\text{OH}_2\text{O}$, увеличивающийся в объеме в 22,5 раза.

Этот вид коррозии наиболее распространен в водоотводящих каналах. Если в воде имеется избыточный агрессивный диоксид углерода CO_2 , то при его химическом взаимодействии с гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ образуется малорастворимый в воде углекислый кальций CaCO_3 , а при его дальнейшем взаимодействии с диоксидом углерода – легко растворимый двууглекислый кальций $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Растворение двууглекислого кальция приводит к разрушению бетона.

В результате действия на бетонные стенки труб сточных вод, конденсата, газов и микроорганизмов, хорошо развивающихся в слизистой пленке, покрывающей стенки канала, происходит значительное уменьшение содержания CaO в бетоне (с 64 до 12 %) и увеличение содержания сульфатов (с 1,5 до 42 %).

Резкое снижение CaO и увеличение сульфатов приводят к разрушению бетонных труб и коллекторов. В водоотводящей сети возможны взрывы смеси водородистых и метановых газов при соединении с кислородом воздуха. Вредные газы опасны для рабочих, спускающихся в колодцы и коллекторы для осмотра и прочистки трубопроводов.

Для удаления паров воды, уменьшения конденсации и снижения процентного содержания метана, диоксида углерода и сероводорода устраивают вытяжную вентиляцию водоотводящей сети с естественной тягой через вытяжные стояки, установленные в зданиях и выведенные выше крыши здания. Опыт эксплуатации водоотводящей сети показал, что воздух поступает в сеть через неплотности в люках смотровых колодцев и вентиляционные стояки малоэтажных зданий, а выходит через стояки высоких зданий или зданий, расположенных на высоких отметках.

Скорость движения воздуха в крупных водоотводящих коллекторах, не оборудованных приточной вентиляцией, колеблется

от 0 до 0,6 м/с, причем режим движения неустойчив и не поддается расчету. Вытяжные устройства следует предусматривать во входных камерах дюкеров, в смотровых колодцах, в местах резкого снижения скоростей течения воды в трубах диаметром более 400 мм и в перепадных колодцах при высоте перепада более 1 м и расходе сточной воды более 50 л/с.

На участках сети, к которым выпуски не присоединяются, вытяжные стояки диаметром 300 мм и высотой 5 м устанавливаются не реже чем через 250 м.

Для приточной вентиляции можно использовать железобетонные полые мачты, устанавливаемые для освещения и подвески различных проводов. От колодцев водоотводящей сети к основанию полых мачт подводят вентиляционные трубы диаметром 150 мм, проложенные с уклоном 0,01 в сторону колодца. Для загородных коллекторов устанавливают вентиляционные железобетонные трубы большего диаметра или шахты высотой не менее 3 м. Для магистральных коллекторов глубокого заложения проектируют искусственную вытяжную вентиляцию.

8.7. Защита трубопроводов от агрессивного действия газов, сточных и грунтовых вод

В условиях эксплуатации водоотводящая сеть подвергается агрессивному воздействию газов и сточных вод с внутренней стороны и грунтовых вод с наружной, что приводит к разрушению железобетонных и стальных трубопроводов. Для защиты железобетонных труб от агрессивного действия сточных и грунтовых вод их изготавливают на пуццолановых и сульфатостойких цементах с гидравлическими добавками, не подвергающихся коррозии под действием газов, сульфатных и углекислых вод; придают стенкам труб высокую плотность и водонепроницаемость; устраивают надежную изоляцию внутренних и внешних бетонных поверхностей.

Добавки связывают гидроксид кальция и уменьшают скорость его выщелачивания из бетона в 12 раз. В цементный раствор добавляют растворимое стекло (силикат натрия) в количестве 5÷10 % массы цемента, что придает кислотостойкость бе-

тонным изделиям. Наиболее высокое качество труб достигается при центрифугировании бетона и гидропрессовании с вибрированием (ГОСТ 16953–71 и 12586–67).

При центрифугировании происходит процесс отжатия свободной воды и воздуха и равномерное распределение бетона вследствие перераспределения частиц цемента и заполнителей.

Защитная изоляция внутренних и внешних поверхностей водоотводящих труб может быть жесткой или пластичной, и наносят ее со стороны действия воды или газа. К жесткой изоляции относят цементную штукатурку с железнением, торкрет-штукатурку, облицовку керамическими и пластмассовыми плитками. К пластичной изоляции относят обмазочную, оклеечную и обмазочно-оклеечную.

Мягкие битумные и другие пластичные материалы, обладающие устойчивостью против агрессивного действия воды и газов, водонепроницаемостью, пластичностью и хорошей сцепляемостью с материалом труб, наносят на изолируемую поверхность. К недостаткам пластичной изоляции следует отнести слабую сопротивляемость высоким температурам, растворителям и механическому истиранию.

Обмазочную изоляцию (горячую или холодную) наносят в виде тонких слоев битума; эта изоляция ненадежна.

Оклеечную гидроизоляцию устраивают путем наклейки на сухую изолируемую поверхность с помощью клеемассы полотнищ рулонного материала (рубероида, гидроизола, пергамина). Обмазочно-оклеечная гидроизоляция устраивается введением в слой обмазочной изоляции рулонного сетчатого материала (грубой марли, серпянки, битуминизированной мешковины) с последующей обмазкой мастикой.

Более надежной и долговечной является битумно-резиновая и полимерная изоляция. Средний срок службы битумной изоляции 15–20 лет, битумно-резиновой – 30 лет и полимерной – 40 лет. Полимерная липкая лента ПВХ навивается на поверхность трубопроводов с помощью механизмов. При прокладке дюкеров и переходов полимерная лента надежно защищает трубы от механических повреждений.

8.8. Устройство водоотводящей сети в особых условиях

Районы с просадочными грунтами. Просадочные грунты широко распространены на значительной территории европейской части России, в Западной Сибири, Средней Азии и Закавказье. Просадочные грунты подразделяют на два типа:

I – просадка грунта от собственного веса при замачивании практически отсутствует или не превышает 5 см;

II – возможна просадка грунта от собственного веса при замачивании на величину более 5 см.

При устройстве водоотводящей сети в просадочных грунтах необходимо тщательно выполнять все работы, устраняющие утечку воды из сетей и сооружений, и не допускать замачивания грунтов в котлованах и траншеях ливневыми водами путем отведения поверхностных вод. Трассировать водоотводящую сеть следует по нижней стороне склонов и по тальвегам.

Разработку грунта и укладку труб в летнее время необходимо вести ускоренными темпами во избежание попадания в траншею атмосферных вод.

Самотечные и напорные трубопроводы в грунтовых условиях I типа просадочности прокладываются, как в обычных непросадочных грунтах. Минимальное расстояние в плане от наружной поверхности труб до грани фундамента или стен подземной части сооружений должно быть не менее 5 м.

В грунтовых условиях II типа просадочности минимальное расстояние в плане от фундаментов сооружений до безнапорных и напорных трубопроводов должно приниматься в зависимости от диаметра труб и толщины слоя просадочного грунта. При толщине слоя просадочного грунта до 5 м минимальное расстояние от фундаментов для труб всех диаметров принимается как в непросадочных грунтах; при слое 5÷12 м минимальное расстояние для труб диаметром до 300 мм должно быть не менее 7,5 м, а для труб диаметром более 300 мм – 10 м; при толщине слоя более 12 м – соответственно 10 и 15 м.

Если это условие невыполнимо, трубы прокладывают в водонепроницаемых каналах с устройством выпуска аварийных вод или в коллекторных туннелях.

В грунтовых условиях II типа просадочности материал труб принимают в зависимости от величины просадки грунта h : при h до 40 см для самотечных трубопроводов – керамические и железобетонные безнапорные трубы, для напорных трубопроводов – напорные асбестоцементные, железобетонные, полиэтиленовые (при давлении свыше 0,9 МПа – стальные); при h свыше 40 см для самотечных трубопроводов – керамические диаметром до 250 мм, напорные асбестоцементные и железобетонные, для напорных – стальные и напорные полиэтиленовые и чугунные.

Стыковые соединения труб выполняют на резиновых уплотнителях с зачеканкой эластичными материалами. Углубление для прямков под стыковыми соединениями выполняют трамбованием грунта. На стальных трубопроводах необходимо устанавливать компенсаторы. При укладке трубопроводов в грунтах с просадкой до 40 см грунт уплотняют ниже отметки дна траншеи на глубину $0,2 \div 0,3$ м; с просадкой более 40 см кроме уплотнения предусматривают укладку слоя плотного глинистого грунта, обработанного битумными или дегтевыми материалами толщиной не менее 0,1 м, лоткообразной формы на всю ширину траншеи. На этот лоток под трубы следует укладывать дренирующий слой (песок, гравий, щебень) толщиной не менее 0,1 м, предусматривая отвод аварийных вод в контрольные колодцы, расстояние между которыми должно быть не более 200 м.

Смотровые колодцы следует выполнять водонепроницаемыми.

Отверстия для прохода труб через стены и фундаменты должны иметь размеры, обеспечивающие зазор между трубой и стеной 20 см, заделываемый эластичным материалом. Необходимо предусматривать кольцевание уличной сети и перепуск сточных вод (под напором) из одного коллектора в другой, а на коллекторах – аварийные выпуски.

Коллекторы рекомендуется укладывать совместно с водопроводными магистралями в коллекторных туннелях с водонепроницаемыми стенками, имеющими сток в водосборный колодец. Трубопроводы, проложенные в просадочных грунтах, обязатель-

но подвергают гидравлическому испытанию на водонепроницаемость: напорные водоводы – под соответствующим давлением в течение 12 ч, а самотечные – наполнением в течение 24 ч, при этом утечка не допускается. Смотровые колодцы, расположенные возле зданий и сооружений, испытывают путем их наполнения водой; уровень воды в колодцах при испытании не должен понижаться в течение 24 ч.

Выпуск воды в траншеи после опрессовки или промывки трубопроводов запрещается.

Районы оползней. Оползневые явления наблюдаются в ряде районов страны. Под оползнями понимают медленное или внезапное сползание толщ слоев грунта по границе наклонной плоскости водоносного и глинистого водоупорного слоя, смачиваемого поверхностными или грунтовыми водами. Проектирование комплекса противооползневых мероприятий должно базироваться на точном анализе причин, вызывающих оползни, и выяснении степени их активности на основе тщательного геологического изыскания.

Наиболее эффективными мероприятиями являются:

- 1) перехват и отвод поверхностных и грунтовых вод устройством открытого и закрытого дренажа мелкого или глубокого заложения;
- 2) устранение фильтрации в грунт воды из поверхностных водоемов и покрытие поверхности водонепроницаемой одеждой;
- 3) устройство подпорных стенок.

Кроме общих мероприятий по предупреждению оползней при проектировании и строительстве сетей водоотведения нужно предусматривать специальные мероприятия:

- 1) проектирование полной раздельной системы водоотведения;
- 2) трассировку сети параллельно горизонталям, избегая приближения к незащищенным и крутым склонам;
- 3) кольцевание сетей и устройство перепусков из одного коллектора в другой; прокладку в ответственных местах металлических труб и аварийных выпусков; качественную заделку стыков и сопряжения труб со стенками колодцев с гидравлическим испытанием на полную водонепроницаемость в течение 24 ч;

4) засыпку траншеи сухим грунтом с тщательным трамбованием слоями по 20 см.

Подрабатываемые территории. Проектирование сетей водоотведения на подрабатываемых территориях следует проводить на основе горно-геологического обоснования с учетом максимальных расчетных величин ожидаемых деформаций земной поверхности.

При трассировке сетей предусматривают следующие мероприятия, обеспечивающие отвод стоков с территории на случай аварии:

- возможность перепуска воды из одного коллектора в другой;
- применение труб минимальной длины – керамических, асбестоцементных, железобетонных;
- выполнение стыковых соединений эластичными, гибкими, способными воспринимать угловые и продольные взаимные перемещения концов труб при деформации земной поверхности;
- прокладку труб в непроезжей части территории на случай вскрытия в период интенсивных деформаций;
- прокладку двух параллельно работающих линий при необходимости применения трубопроводов диаметром более 600 мм.

Керамические трубы диаметром до 300 мм следует укладывать с зазором 6 мм, более 300 мм – 8 мм; асбестоцементные и железобетонные при длине труб до 3 м – 15 мм, а при большей длине – 20 мм. Стыки раструбных труб заделывают с применением резиновых колец и асбестоцемента, армированного металлической проволокой. Для напорных трубопроводов на территориях I–III групп выработок следует применять стальные трубы с установкой компенсаторов, а на территориях IV группы – железобетонные, асбестоцементные и пластмассовые.

На трубопроводах диаметром до 500 мм рекомендуется устанавливать компенсаторы с выворачивающимся манжетом, допускающим угловые и горизонтальные смещения без нарушения герметичности.

Для объектов, размещаемых на подрабатываемых территориях, проектирование общесплавных систем водоотведения не допускается.

Проекты необходимо согласовывать с местными органами Госгортехнадзора и организациями, эксплуатирующими месторождения.

Сейсмические районы. Строительство в сейсмических районах производят в соответствии с требованиями СНиП КР 20-02:2009. Землетрясения принято измерять по 10-балльной системе (шкала MSK-64), причем землетрясения до 6 баллов считаются незначительными. При землетрясениях от 7 баллов и выше требуется предусматривать специальные мероприятия, по возможности исключающие затопление территории сточными водами и загрязнение подземных вод и открытых водоемов в случае повреждения водоотводящих трубопроводов и сооружений. Эти мероприятия сводятся к следующему:

1) применять по возможности децентрализованные системы водоотведения и давать предпочтение методам очистки сточных вод в естественных условиях, если это не вызовет значительного усложнения и удорожания работ;

2) трассировать сети вдали от зданий, не укладывать трубы в насыпных, рыхлых и неоднородных грунтах, по обрывам и на участках со значительным уклоном, а также по мостам и акведукам;

3) предусматривать дублирование коллекторов и обеспечение их достаточным количеством аварийных сбросов и переключений; избегать устройства коллекторов большого сечения;

4) применять для самотечных линий при сейсмичности ниже 9 баллов все виды труб, предусмотренных для систем водоотведения в обычных условиях; при сейсмичности 9 баллов не допускается применения бетонных неармированных труб, а железобетонные трубы должны иметь усиленную продольную арматуру;

5) применять для напорных трубопроводов при сейсмичности 7÷8 баллов полиэтиленовые трубы среднего и тяжелого типов; при сейсмичности 8÷9 баллов и рабочем давлении 0,6 МПа и более – стальные и железобетонные трубы со стальным сердечником с продольной и спиральной предварительно напряженной арматурой; при давлении до 0,6 МПа – чугунные, железобетонные и асбестоцементные трубы, при этом марка асбестоцементных труб должна быть на один разряд выше марок труб, применяемых в обычных условиях;

б) соединять трубы гибкими стыками с эластичными заполнителями, обеспечивающими возможность упругих перемещений; не допускать жесткого закрепления труб в стенках смотровых колодцев, камер, резервуаров и стеках зданий; зазор между трубой и стенкой должен быть 10 см и заделываться эластичным материалом;

7) принимать минимальную глубину заложения до верха труб при сейсмичности 8÷9 баллов для самотечных трубопроводов – не менее 0,7 м, для напорных стальных – 0,8 м, чугунных и железобетонных – 1 м, асбестоцементных – 1,3 м; при гравелистых грунтах мощностью не менее 3 м глубина заложения труб может быть уменьшена на 20÷30 %;

8) принимать форму смотровых колодцев, камер, резервуаров, насосных станций круглой в плане и выполнять их из железобетона или сборных хорошо замоноличенных элементов; предусматривать железобетонные перемычки над оконными и дверными проемами наземных сооружений; стены подземных сооружений не рекомендуется облицовывать и штукатурить;

9) разделять технологические элементы очистных сооружений по возможности на отдельные секции;

10) предусматривать простейшие устройства для обеззараживания или передвижную установку для перекачки стоков при недопустимости сброса неочищенных стоков на аварийных выпусках.

Районы долголетней мерзлоты. Долголетней мерзлотой называют слои почвы, залегающие на некоторой глубине от поверхности и сохраняющие длительное время (от нескольких лет до тысячелетий) отрицательную температуру. Над мерзлотой лежит деятельный слой почвы, оттаивающий летом и замерзающий зимой. Основная задача при прокладке водоотводящих сетей в районах долголетней мерзлоты заключается в устранении тепловыделений в окружающий грунт и предохранении сточных вод от замерзания в трубопроводах.

Конструкции водоотводящих сетей в условиях долголетней мерзлоты принимают в зависимости от взаимодействия трубопровода и грунта: без оттаивания грунта или с возможностью его оттаивания. При этом при всех способах прокладки трубопроводов следует предусматривать мероприятия по предохранению

сточных вод от замерзания путем совмещенной прокладки сетей бытовых и промышленных вод, а также теплопроводов для дополнительного сброса в сеть теплой воды и обогрева отдельных участков сети.

При проектировании и строительстве водоотводящих сетей рекомендуется применять: неполную раздельную систему водоотведения с максимально возможным совмещением бытовых и производственных вод; проходку трубопроводов в зависимости от мерзлотно-грунтовых условий – подземную в траншеях или каналах непроходных, полупроходных и проходных, наземную (на подсыпке с обваловкой) или надземную (по мачтам и эстакадам, конструкциям зданий и сооружений).

Подземную бесканальную прокладку осуществляют для одиночных низкотемпературных трубопроводов диаметром не более 300 мм без тепловой изоляции.

Непроходные каналы принимают на коротких участках – переходах через улицу, дороги, на вводах в здание и др., а полупроходные и проходные – при совместной прокладке труб и электрокабелей.

При переходах через улицу, дороги, железнодорожные пути применяют надземную прокладку по мачтам и эстакадам и подземную в каналах или в стальных гильзах.

Для самотечных сетей при подземной бесканальной прокладке, где деформация основания трубопроводов исключена, применяют железобетонные и асбестоцементные безнапорные трубы, а на участках, где возможна деформация, а также при канальной, наземной и надземной прокладках – стальные, чугунные, железобетонные и асбестоцементные напорные трубы.

В смотровых колодцах вместо открытых люков устанавливают стальные трубы с ревизиями. Расстояние в свету от подземных водоотводящих трубопроводов до обрезов фундаментов зданий и сооружений следует принимать: при бесканальной прокладке трубопроводов – 10 м, при прокладке трубопроводов в канале – 6 м.

Минимальное заглубление подземных трубопроводов 0,7 м от верха трубы. При проектировании зданий и сооружений следует руководствоваться СНиП КР 20-02:2009.

8.9. Ремонт водоотводящей сети

Все повреждения, обнаруженные на водоотводящей сети при осмотрах, плановой профилактической и аварийной прочистках, немедленно исправляются для предупреждения более крупных повреждений. Ремонт сети может быть текущим и капитальным.

К текущему ремонту относится ликвидация мелких повреждений, вызывающих нарушение нормальной работы сети (замена скоб и люков, заделка свищей в колодцах, замена вторых крышек, перекладка горловин колодцев, ремонт подвижных частей шиберов, задвижек и т. п.).

К капитальному ремонту относится устранение разрушений сети, вызывающих необходимость вскрытия мостовой (просадки колодцев, неизбежно связанной с разрушением присоединенных к ним труб; аварийных засорений, не поддающихся прочистке и требующих перекладки труб; просадки и разрушений труб на участке между колодцами; разрушений лотков в колодцах крупных коллекторов), а также разборка и перекладка труб, установка дополнительных смотровых колодцев и т. п.

Эти работы связаны с временным прекращением эксплуатации сети на ремонтируемом участке. Поэтому в первую очередь обеспечивают бесперебойное действие водоотводящей сети на лежащем выше участке, принимают меры против затопления подвальных помещений, организуют временную перекачку сточной жидкости из верхнего колодца в нижний или перепуск ее самотеком по обводному лотку.

9. СООРУЖЕНИЯ НА ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ

9.1. Смотровые колодцы и соединительные камеры

Смотровым колодцем или камерой называют шахту, расположенную над водоотводящей трубой или коллектором, внутри которой труба или коллектор заменены открытым лотком.

Смотровые колодцы и камеры на водоотводящих сетях предусматривают в местах присоединения, в местах изменения направления уклонов и диаметров трубопроводов, на прямых участках на расстояниях, удобных для эксплуатации.

В зависимости от назначения смотровые колодцы делятся на линейные, поворотные, узловые и контрольные. Кроме того, применяют промывные, перепадные и специальные колодцы.

Линейные смотровые колодцы устраивают на прямолинейных участках сетей всех систем водоотведения на расстояниях, зависящих от диаметра труб:

- при диаметре труб 150 мм – 35 м;
- при диаметре труб 200÷450 мм – 50 м;
- при диаметре труб 500÷600 мм – 75 м;
- при диаметре труб 700÷900 мм – 100 м;
- при диаметре труб 1000÷1400 мм – 150 м;
- при диаметре труб 1500÷2000 мм – 200 м;
- при диаметре труб свыше 2000 мм – 250÷300 м.

При надлежащем обосновании допускается увеличение расстояний между колодцами до 10 %. На коллекторах, сооружаемых способом щитовой проходки, а также на транзитных коллекторах диаметром более 2000 мм допускается расстояние между колодцами увеличивать до 300 м.

Поворотные колодцы предусматривают во всех точках изменения направления линии в плане (на поворотах). Поворотный колодец отличается от линейного формой лотка, который имеет криволинейное очертание в виде плавной кривой с минимальным

радиусом искривления, равным 2÷3 диаметрам труб. Угол поворота не должен быть более 90°. Поворот лотка начинают на расстоянии половины диаметра трубы от стенок колодца.

Узловые колодцы устраивают в местах соединения двух-трех водоотводящих линий. Они имеют узел лотков, соединяющих не более трех подводящих труб и одной отводящей. Узловые колодцы на крупных коллекторах называют соединительными камерами.

Контрольные колодцы выполняют в местах присоединения дворовой, внутриквартальной или заводской сети к уличной и располагают за пределами красной линии застройки со стороны зданий.

Эти колодцы служат для контроля за работой водоотводящей сети присоединяемых объектов.

Промывные колодцы устраивают для промывки сети в начальных участках водоотводящей сети там, где из-за недостаточных скоростей возможно выпадение осадков.

Перепадные колодцы предусматривают на участках, где отметки лотка подводящей и отводящей труб резко различны.

Специальные колодцы с увеличенными размерами люка и горловины устраивают на коллекторах диаметром 600 мм и более через 300÷500 м. Они предназначены для спуска приспособлений при прочистке коллекторов.

Смотровые колодцы унифицированы и подразделяются на малые – для труб диаметром до 600 мм и большие – для труб диаметром более 600 мм, круглые и прямоугольные.

Диаметр рабочей части круглых в плане линейных колодцев должен быть:

- для труб диаметром до 600 мм – 1000 мм;
- для труб диаметром до 700 мм – 1250 мм;
- для труб диаметром до 800÷1000 мм – 1500 мм;
- для труб диаметром до 1200 мм – 2500 мм.

Примечание. Для внутриквартальных сетей диаметром 150 мм, глубиной заложения до 1,2 м допускается устройство колодцев диаметром 700 мм.

Смотровые колодцы состоят из основания, рабочей камеры, перекрытия или переходной части, горловины и люка с крышкой.

Основание колодца состоит из бетонной или железобетонной плиты (ГОСТ 8020–68) и набивных лотков из монолитного бетона марки 200. На грунтах с допускаемым давлением более 80 кПа при отсутствии грунтовых вод толщину бетонной или железобетонной плиты для малых колодцев принимают 80 мм. При наличии грунтовых вод для больших и малых колодцев толщину плиты основания принимают по расчету.

На плиту укладывают концы труб, а по периметру – регулировочные камни до верха трубы, затем по шаблону делают бетонный лоток, соответствующий форме и размерам трубы. Максимальную глубину лотка принимают равной диаметру наибольшей трубы. При круглых трубах нижняя часть лотка представляет собой полуокружность, а верхняя имеет прямые стенки, которые доводят до шельги трубы. Площадку между лотком и стенками колодца называют полкой или бермой. Полки лотка располагают на уровне верха трубы большого диаметра и выполняют с поперечным уклоном $0,02 \div 0,03$ для смыва с них осадка в случае переполнения колодца.

Рабочую камеру устраивают высотой 1800 мм из стеновых колец внутренним диаметром 700, 1000, 1500 и 2000 мм и наружным соответственно 840, 1160, 1680 и 2200 мм. Высоту колец принимают равной 290, 590 и 890 мм, а толщину стенки – 70, 80, 90 и 100 мм (ГОСТ 8020–68).

Размеры прямоугольных колодцев принимают:

- для труб диаметром до 700 мм – длину 1000 мм, ширину $D+400$ мм (где D – диаметр наибольшей трубы, мм), но не менее 1000 мм;
- для труб диаметром 700 мм и более – длину $D+400$ мм (с учетом устройства поперечной площадки), но не более 2000 мм и ширину $D+500$ мм (с устройством рабочей площадки с одной стороны лотка и полки шириной не менее 100 мм с противоположной стороны);
- для труб диаметром более 2000 мм допускается устройство рабочих площадок на консолях с сохранением открытой части лотка не менее 2000×2000 мм.

При диаметре трубопроводов 700 мм и более в рабочей части предусматривают ограждение лотка высотой 1000 мм.

Для спуска в колодец устанавливают ходовые скобы.

Переходную часть круглого колодца между рабочей камерой и горловиной ранее выполняли в виде одностороннего конуса. Такие колодцы нашли повсеместное применение в системах водоотведения. По ГОСТ 8020–68 переходную часть рекомендуется выполнять только в виде плоской плиты перекрытия с круглым отверстием диаметром 700 мм, на которую устанавливают горловину колодца.

Горловину собирают из железобетонных колец диаметром 700 мм и высотой 290, 590 и 890 мм, а сверху устанавливают опорные кольца (ГОСТ 8020–68). Колодец до наружной отметки наращивают кирпичом. Горловину сверху закрывают люком с крышкой. Вторую крышку устанавливают на опорное кольцо. Рабочую камеру устанавливают одновременно с прокладкой трубопровода.

При необходимости в колодце предусматривают место для установки шибера, металлическую лестницу или подвесные скобы. Скобы устанавливают в отверстия, просверленные в стенках железобетонных колец; подвесные закладывают в местах стыкования колец. Типовые колодцы разработаны для следующих условий строительства:

- а) при отсутствии грунтовых вод;
- б) при наличии грунтовых вод;
- в) при просадочных грунтах;
- г) при глубине заложения сети до 8 м.

Расчетное давление на грунт для колодцев водоотводящих сетей принимается не менее 0,1 МПа. Прямоугольные колодцы и камеры собирают из сборных железобетонных стеновых панелей; формы и размеры сборных элементов позволяют изготавливать их в заводских условиях и на полигонах. Высота стеновых панелей принята 600, 900 и 1800 мм. Максимальный вес сборных железобетонных элементов принят из условий использования передвижных кранов грузоподъемностью до 5 т, обычно применяемых при строительстве водоотводящих сетей. Железобетонные плиты перекрытий колодцев изготавливают из бетона марки 300, а все остальные элементы – из бетона марки 200; для набивки лотков применяют бетон марки 200.

Камеры перекрывают железобетонными плитами и устанавливают горловины с люками и вторыми крышками. Круглыми чугунными люками (ГОСТ 3634–61) перекрывают горловины всех камер и смотровых колодцев. Круглые чугунные люки состоят из опорного корпуса с одной крышкой для установки на горловины колодцев диаметром 700 мм и с отверстием для лаза диаметром 620 мм.

Для территорий, затопляемых паводками, рекомендуются круглые люки с двумя крышками. Чугунные люки изготовляют двух типов: тяжелые – для укладки на проезжей части (масса 134 кг) и легкие – для укладки на тротуарах (масса 80 кг). Вместо чугунных допускается применять железобетонные люки с крышками.

Крышки люков на асфальтированных проездах устанавливают в уровень с поверхностью проезжей части; на незаощенных проездах – с возвышением на 50÷70 мм с устройством отмостки шириной 1 м вокруг люка.

На специальных камерах устраивают горловины больших размеров и устанавливают прямоугольные люки размерами 1000×1000 и 1000×1500 мм.

Допускаются бесколодезные присоединения дворовых и внутриквартальных сетей диаметром до 300 мм к уличным коллекторам диаметром 400 мм и более, а также к вертикальному стояку глубоко заложённых коллекторов при условии, что присоединение имеет длину не более 15 м и скорость движения в них жидкости составляет не менее 1 м/с.

Затраты на устройство колодцев и камер достигают 25 % всех затрат на прокладку трубопроводов. Строительство их трудоемко, а поэтому их следует собирать из крупноблочных и объемных конструкций.

9.2. Перепадные колодцы

Перепадные колодцы на водоотводящей сети устраиваются на присоединениях к коллекторам глубокого заложения при пересечении с подземными сооружениями и при затопленных выпусках на последнем перед водоемом колодце. Кроме того, их

устраивают при необходимости гашения недопустимых скоростей движения сточной жидкости.

На трубопроводах диаметром до 600 мм перепады высотой до 0,3 м допускается выполнять без устройства перепадного колодца путем плавного слива в смотровом колодце. Перепады высотой до 6 м на трубопроводах диаметром до 500 мм включительно устраивают в колодцах в виде вертикальных стояков с водобойным приемком, расположенных в рабочей камере смотрового колодца.

Гидравлический расчет колодцев не производят, их размеры принимают конструктивно.

В колодце над стояком устраивают приемную воронку, а под стояком – водобойный приемок с металлической плитой в основании. При диаметре стояка до 300 мм допускается установка направляющего колена взамен водобойного приемка. Диаметр стояка должен быть не менее диаметра подводящего трубопровода.

На трубопроводах диаметром 600 мм и более перепады высотой до 3 м устраивают в виде водослива практического профиля с водобойным приемком для образования затопленного прыжка, что необходимо для гашения разрушающей скорости потока. При высоте перепада более 3 м конструкции колодцев принимаются по индивидуальным проектам в виде глубоких шахтных перепадных камер с водобойными устройствами, ступенчатых перепадов, спиральных водосливов и др.

Гидравлический расчет перепадного колодца практического профиля производят по формулам гидравлики для сопряжения бьефов. При расчете перепадных колодцев определяют общую их длину L , длину водобойной части l_1 и глубину водобоя p .

Глубина водобоя:

$$p = B - h_n, \quad (9.1)$$

где h_n – наполнение отводящего коллектора при равномерном движении воды, м; B – высота водяной подушки, м;

Для критической глубины водобоя:

$$B = ((0,451 * q_0) / \sqrt{h_c}) - 0,5 * h_c, \quad (9.2)$$

где q_0 – расход на единицу ширины отводящей трубы ($q_0 = q/d$, где q – расчетный расход, $\text{м}^3/\text{с}$); d – диаметр трубы м; h_c – глубина воды в сжатом сечении, м.

Сначала следует определить среднюю удельную энергию потока, отнесенную к горизонтальной плоскости, которая проходит через верхнюю точку наиболее сжатого сечения (без учета глубины водобоя):

$$\check{T}_0 = H + h_b + (v^2 / 2g), \quad (9.3)$$

где H – напор на водосливе (высота перепада), м; h_b – наполнение подводящего коллектора при равномерном режиме; v – скорость потока, м/с.

Затем по значению \check{T}_0 и q_0 определяют в первом приближении величину V' по стандартным номограммам и величину p' .

Во втором приближении для практического пользования принимают (с учетом глубины водобоя):

$$T_0 = H + p' + h_b + (v^2 / 2g) \quad (9.4)$$

и по полученному значению T_0 определяют окончательные величины V и p .

Для определения критической глубины водобоя, при которой образуется затопленный прыжок, среднюю удельную энергию потока принимают по формуле:

$$T_0 = h_c + (q_0 / (2g * \varphi^2 * h_c^2)) . \quad (9.5)$$

Длину колодца и длину водобойной части определяют по формулам:

$$L = 2 * \ell_1 , \quad (9.6)$$

$$\ell_1 = 1,15 * (H_0 * (H + 0,33 * H_0))^{1/2}, \quad (9.7)$$

$$H_0 = h_b + (v^2 / 2g) . \quad (9.8)$$

В системе водоотведения г. Санкт-Петербург эксплуатируют перепадные колодцы шахтного типа с водобоем у основания или многоступенчатые каскадного типа глубиной до 18 м. Диаметр стояка шахтного перепада определяют в зависимости от максимального расчетного расхода $q_{\text{макс}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$), по формуле:

$$D_{\text{ст}} = 0,55 * q_{\text{макс}}^{0,375} . \quad (9.9)$$

Размеры и глубина приемка под шахтным водосливом определяются гидравлическим расчетом. Для многоступенчатых кас-

кадных стояков с расстоянием между ступенями, равным удвоенной его ширине $2B$ или удвоенному диаметру $2D$, Ю.Д. Шутовым установлена расчетная зависимость:

$$q = \alpha * \omega^{1,27}, \quad (9.10)$$

где q – расчетный расход, л/с; α – коэффициент, равный 2,9 при безнапорном движении; ω – площадь сечения стояка, дм^2 .

9.3. Дюкеры, переходы и пересечения с трубопроводами

В местах пересечения водоотводящей сети с реками, оврагами, судоходными и водосточными каналами, железными дорогами, автострадами устраивают дюкеры, эстакады и переходы.

Дюкер состоит из входной (верхней) и выходной (нижней) камер и трубопровода. Средний участок трубопровода укладывают с небольшим уклоном, а боковые наклонные участки (нисходящий и восходящий) – с углом наклона восходящей части дюкерных труб не более 20° к горизонту. Прокладывают не менее двух рабочих линий дюкеров (из стальных труб диаметром не менее 150 мм с усиленной антикоррозионной изоляцией) и только через овраги и суходолы – одну линию из стальных, чугунных, асбестоцементных и железобетонных труб.

Трасса дюкера должна иметь:

- 1) направление, перпендикулярное пересечению;
- 2) минимальные длину и глубину заложения труб;
- 3) наиболее благоприятные грунтовые условия;
- 4) неразмываемые в месте пересечения берега и дно реки.

Трассу дюкера на судоходных реках и водоемах согласовывают с управлением судоходства. Подводную часть дюкерных труб укладывают на глубине не менее 0,5 м от дна реки, считая до верха трубы, а в пределах фарватера на судоходных реках – не менее 1 м. Расстояние между дюкерными трубами в свету должно быть не менее $0,7 \div 1,5$ м.

Входную камеру дюкера разделяют бетонной стенкой на две части: мокрую и сухую. В мокрой размещают открытые лотки, в сухой – трубы, задвижки или щитовые затворы, с помощью ко-

торых можно выключать любой из трубопроводов дюкера. Размеры камер в плане зависят от числа и диаметра труб. Расстояние между трубами в камере принимают не менее 400 мм, а ширину боковых проходов – не менее 250 мм; для труб диаметром более 500 мм эти расстояния удваивают.

Высота камер должна обеспечивать удобство обслуживания и размещения задвижек и затворов и быть не менее 1800 мм, считая от бермы лотка до перекрытия.

Открытые лотки набивают по плавным кривым из бетона марки 200 с железнением поверхности. Высота лотков равна диаметру самотечного коллектора. Камеры оборудуют люками, лестницами или скобами для опускания рабочих, а на коллекторах диаметром более 700 мм и ограждающими решетками. Если размеры люков недостаточны для опускания через них задвижек и снарядов, предназначенных для прочистки труб, то устанавливают дополнительно люки больших размеров или делают съемное перекрытие. Камеры следует выполнять из сборных железобетонных колец и элементов, а в случае сложной конфигурации – из монолитного бетона и как исключение из кирпича.

При водоносных грунтах наружную поверхность камеры покрывают битумом, внутренние бетонные стены торкретируют, а у кирпичных стен швы расширяют цементным раствором. Устраивают аварийный выпуск из верхней камеры дюкера или из ближайшего колодца перед дюкером. На трубах дюкера большой протяженности, прокладываемых через поймы и долины, рекомендуется устанавливать колодцы с ревизиями, а в пониженной части – выпуск для опорожнения и промывки дюкера на случай ремонта.

Дюкер заканчивается выходной камерой, где напорные трубы переходят в самотечный коллектор. Здесь же устанавливают шиберы. Разность отметок уровней воды и лотков подводящих и отводящих коллекторов во входной и выходной камерах определяют расчетом. Она равна сумме всех гидравлических потерь на трение и местные сопротивления в дюкере. Дюкеры должны проверяться на пропуск расчетного расхода при выключении одной трубы с учетом допустимого подпора.

Дюкерные трубы не доступны для осмотра, поэтому для обеспечения надежной и бесперебойной работы расчетные ско-

рости течения неосветленной жидкости в них принимают не менее 1 м/с, а в коллекторе перед дюкером – не более скорости в дюкере. В общесплавных системах водоотведения дюкеры должны укладываться не менее чем из двух труб, при этом диаметр одной из них предусматривается на пропуск расхода в сухую погоду с необходимыми скоростями.

Эстакады устраивают при пересечении самотечных коллекторов с оврагами. Эстакада по конструкции более проста, чем дюкер, и может одновременно использоваться как пешеходный мост. Эстакада представляет собой мост на опорах, по которому проложен самотечный трубопровод из длинномерных металлических, железобетонных или асбестоцементных труб в утепленном коробе – футляре.

Эстакады устраивают из сборных железобетонных конструкций на железобетонных опорах или на сваях. Трубы укладывают в коробе на подкладках; их утепляют шлаком, минеральной шерстью, пористым бетоном, пенобетоном.

При укладке коллекторов по эстакадам диаметры труб, наполнение и скорости течения в них принимают такими же, как и у прилегающего участка коллектора. Трубам придают требуемый уклон.

На трубопроводе вместо колодцев устанавливают ревизии для прочистки труб, а перед эстакадой – аварийный выпуск с согласия органов санитарно-эпидемиологического надзора. Расстояние между ревизиями принимают 50 м и более аналогично расстановке линейных смотровых колодцев.

К выбору трассы эстакады предъявляются такие же требования, как и к выбору трассы дюкеров. Напорные водоотводящие трубопроводы при пересечении рек и оврагов иногда подвешивают в утепленных коробах к пролетам существующих мостов.

Переходы под железными и автомобильными дорогами применяют: для дорог, проходящих в глубоких выемках – дюкерные, а в остальных случаях – самотечные. Переходы под железными и автомобильными дорогами I и II класса и магистральными городскими проездами проектируют в металлических или железобетонных футлярах, в непроходных и проходных туннелях. Металлические футляры прокладывают продавливанием при бес-

траншейной проходке. При пересечениях линиями водоотводящих сетей электрифицированных железных дорог необходимо защищать металлические трубы от коррозии.

Трубопроводы под путями железных дорог и трамвайными путями допускается прокладывать без футляра или без туннеля: безнапорные линии – из напорных чугунных или железобетонных труб, а напорные – из стальных.

При трассировке переходов под автомобильными и железными дорогами необходимо предусматривать пересечение в местах с возможно меньшим числом железнодорожных путей и перпендикулярно им, а также обеспечивать бесперебойное движение транспорта и предохранение дороги от размыва при повреждениях труб.

На напорных трубопроводах под магистральными железными и автомобильными дорогами устанавливают колодцы с отключающими устройствами с обеих сторон перехода, а на самотечных – только с верхней стороны. Расстояние от колодца до крайнего рельса, бордюрного камня или подошвы насыпи принимается не менее 5 м, а до бровки выемки или водоотводных устройств – не менее 3 м.

Расстояние по вертикали от подошвы рельса железнодорожных путей или покрытия автомобильной дороги до верха трубы, футляра или туннеля следует принимать: при открытом способе производства работ - не менее 1 м; при закрытом способе производства работ путем продавливания или горизонтального бурения – не менее диаметра футляра или туннеля, но не менее 1,5 м; при шитовой проходке – не менее диаметра щита.

Проекты переходов под железными и автомобильными дорогами I и II категории необходимо согласовывать с органами министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог.

Переходы дюкерного типа под дорогами укладывают с соблюдением тех же условий, что и дюкеры под реками. В переходах предусматривают: повышенные расчетные скорости течения, достаточные диаметр и число труб, надежный материал труб, незначительный наклон восходящего участка, аварийные выпуски и т. д.

Переходы самотечного типа выполняют из труб того же диаметра, что и подводный коллектор, с сохранением неизменных скоростей течения и степени наполнения.

Водоотводящие самотечные переходы выполняют из стальных, чугунных и железобетонных труб. Типовые переходы разработаны для трубопроводов диаметром 150÷1000 мм.

Переходы под путями могут иметь следующие конструкции:

- а) труба без футляра (кожуха);
- б) труба в массивном стуле – бетонном, железобетонном с усиленным перекрытием;
- в) труба в футляре-кожухе;
- г) открытый лоток в галерее или туннеле, устраиваемый открытым способом или способом щитовой проходки.

Трубы в массивном стуле под железнодорожными путями укладывают при мелком заложении и открытом способе производства работ. Переход в виде трубы в футляре прокладывают способом продавливания стальной трубы-футляра в грунте под насыпью с помощью гидравлических домкратов или горизонтальным бурением.

Внутренние диаметры футляров и непроходных туннелей при прокладке в них трубопроводов принимают:

- при открытом способе производства работ – на 200 мм больше наружного диаметра трубопроводов;
- при закрытом способе производства работ в зависимости от длины перехода и диаметра трубопроводов – по указаниям главы СНиП Ш-А.11–70 «Техника безопасности в строительстве».

При укладке в проходных туннелях расстояние от стенки трубы до внутренней поверхности ограждающих конструкций и стенок других трубопроводов необходимо принимать не менее 200 мм. Размеры проходного туннеля следует принимать с учетом возможности укладки и ремонта в них трубопроводов.

При неглубоком заложении коллектора работы проводят открытым способом с устройством обходного пути или моста из балок либо из рельсового пакета, уложенного на клетки из шпал.

Пересечение коллекторов с другими подземными сооружениями в плане должно быть перпендикулярным. Расстояние между коллекторами и другими подземными сооружениями, имеющими значительную глубину заложения, должно быть таким, чтобы при производстве работ, а также при ремонте была обеспе-

чена сохранность трубопроводов, расположенных вблизи места раскопки.

При пересечении коллекторов в одном уровне необходимо предусматривать перепад на одном коллекторе. Иногда перестраивают коллектор дождевой системы водоотведения, чтобы оставить без перекладки крупный коллектор бытовой канализации. В других случаях перекадывают коллектор бытовой системы водоотведения в виде короткого дюкера, а коллектор дождевой системы водоотведения оставляют без изменений.

Устройство дюкера целесообразно на бытовой системе водоотведения, работающей при постоянном притоке сточных вод.

Аналогичным образом устраивают пересечение водоотводящих коллекторов с различными туннелями. Иногда допускается пересечение водосток шельги водоотводящего коллектора. Круглое сечение коллектора на небольшом участке меняют на полукруглое, для уменьшения его высоты в точке пересечения. Коллектор небольшого диаметра при пересечении с крупным водосток можно заключать в футляр из стальных труб и пропускать через водосток без изменения его направления, а водосток в этом месте уширить.

Подробные сведения по вопросам строительства и возведения водоотводящих сетей и сооружений, проведения гидравлических и пневматических испытаний, приемки в эксплуатацию законченных строительством объектов системы водоотведения подробно изложены в учебнике для вузов «Возведение и строительство водопроводных и водоотводящих сетей и сооружений» (Бишкек: КГУСТА, Айат, 2014. 132 с).

10. ПЕРЕКАЧКА СТОЧНЫХ ВОД

10.1. Главные и районные насосные станции

В системах водоотведения нередко приходится прибегать к подъему (перекачке) сточных вод. Для подачи бытовых и производственных сточных вод на очистные сооружения служат главные насосные станции; для подъема сточных вод из заглубленного коллектора и транспортирования их в верхний коллектор предназначены районные насосные станции.

Иногда возникает необходимость устройства насосных станций для перекачки дождевых вод, если отметки уровня воды в водоеме, в который должны быть отведены эти воды, выше отметок территории, обеспеченной системой водоотведения и поэтому возможность удаления дождевой воды самотеком исключается.

В некоторых случаях станции перекачки строят для уменьшения глубины заложения коллектора и, следовательно, уменьшения его строительной стоимости. Такое решение может дать значительную экономию, в особенности в водоносных грунтах или в плывунах, где прокладка труб на большой глубине связана со значительными затруднениями и расходами.

Место расположения насосных станций определяется при решении схемы водоотведения на основе технико-экономических расчетов и согласовывается с органами местного самоуправления и органами Государственного санитарного надзора. Как правило, насосные станции для перекачки сточных вод устраивают в самой пониженной части территории с обеспеченной системой водоотведения с учетом санитарных, планировочных и гидрогеологических условий местности, наличия источников питания станции электроэнергией и возможности устройства аварийного выпуска. Перед насосной станцией все водоотводящие линии, тяготеющие к ней, должны быть объединены одним общим коллектором, по которому сточные воды подводятся в отделение решеток приемного резервуара насосной станции.

По санитарным правилам насосные станции подачей до 50 тыс. м³/сутки следует располагать в отдельных зданиях на рас-

стоянии не менее 20 м от жилых зданий или от пищевых предприятий; для станций большей подачи это расстояние должно быть не менее 30 м. По периметру территории насосной станции следует предусматривать создание защитной зеленой зоны шириной не менее 10 м. Насосные станции не следует располагать на красной линии квартала; чаще всего насосную станцию располагают на территории зеленых насаждений.

По гидрогеологическим условиям место расположения насосной станции должно быть наиболее благоприятным для производства строительных работ (низкий уровень грунтовых вод, плотные грунты и т. п.). В условиях высокого стояния грунтовых вод и слабых грунтов (насыщенных водой – пlyingунов) целесообразно строить станции шахтного типа опускным способом. При этом способе работ наиболее удобно здание круглой формы в плане. Для глубоких станций, даже при хороших грунтах, такая форма оказывается выгодной и по конструктивным соображениям.

В настоящее время почти для всех станций, имеющих суточную подачу примерно до 100÷160 тыс. м³/сут, принимают круглую форму в плане. Диаметр шахты при этом может достигать 24 м. Станции шахтного типа обычно устраивают с насосами под заливом, т. е. размещают ось насоса ниже горизонта воды в резервуаре.

Для малых станций это всегда целесообразно, так как значительно упрощает эксплуатацию (особенно при автоматизации управления). При наличии грунтовых вод на площадке насосной станции подземная ее часть должна быть защищена гидроизоляцией, которую устраивают на 0,5 м выше горизонта грунтовых вод.

Насосные станции, расположенные близ открытых водоемов или в затопляемой местности, должны иметь отметку порога у входа не менее чем на 0,5 м выше самого высокого горизонта воды в водоеме с учетом нагона волны.

Очистные сооружения часто находятся на значительном расстоянии от города или поселка. В этих случаях необходимо разрабатывать варианты расположения главной насосной станции вблизи населенного пункта или в комплексе с очистными сооружениями. При выборе варианта существенное значение имеют не только рельеф местности и гидрогеологические условия, но и очередность капитальных вложений, и эксплуатационные условия.

Целесообразно насосные станции располагать вблизи очистных сооружений для удобства совместного их обслуживания. При строительстве насосных станций следует учитывать очередность их развития. Так, например, часто бывает целесообразно оборудовать главную насосную станцию не сразу на полную подачу, а только на часть ее – с необходимым оборудованием и прокладкой до очистных сооружений одной нитки напорного водоотводящего водовода, рассчитанного на пропуск сточных вод только первой очереди.

В состав насосных станций входят:

- а) приемный резервуар с решеткой;
- б) машинное отделение, где размещены насосные агрегаты;
- в) производственно-вспомогательные и бытовые помещения.

Машинное отделение может быть расположено в одном здании с приемным резервуаром, но должно быть отделено от него непроницаемой стеной и иметь отдельный вход. В некоторых случаях в районах с положительной средней зимней температурой при условии применения двигателей низкого напряжения можно устанавливать электронасосные агрегаты на открытой площадке. Для защиты от пыли их помещают в кожухах или над ними устраивают навес. Электродвигатели должны быть во взрывобезопасном исполнении, а щит управления агрегатами должен помещаться в трансформаторном пункте.

Технологическое оборудование машинных отделений состоит из насосов для перекачки сточных вод, вакуум-насосов (на станциях с незаливными насосами), задвижек на трубопроводах, насосов, эжекторов или других устройств для удаления жидкости с пола машинного отделения, подъемно-транспортных устройств и механизмов, а также контрольно-измерительной аппаратуры (указатели уровня воды в резервуаре, расходомеры, манометры и вакуумметры к насосам, а электродвигатели должны иметь вольтметры и амперметры). Перед установленными манометрами должны быть помещены мембраны.

Для перекачки бытовых и близких им по составу производственных сточных вод по новому стандарту применяются центробежные насосы марки Ф, с подачей $14,5 \div 9000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором $8 \div 95 \text{ м}$ (например, насос Ф16/27 с подачей $16 \text{ м}^3/\text{ч}$ при напоре 27 м).

На насосных станциях дождевой, общесплавной и полураздельной систем водоотведения устанавливаются насосы для перекачки дождевых вод с суммарной подачей, равной расчетному притоку этих вод при периоде однократного переполнения, установленном для принятой схемы водоотведения, с учетом незатопления пониженных территорий при переполнении сети. Число насосных агрегатов для перекачки дождевых вод должно быть минимальным, резервные насосы не устанавливаются.

Для насосных станций большой подачи или повышенного напора по специальному заказу могут быть изготовлены заводами насосы с применением синхронных двигателей большой мощности с частотой вращения около 1500 мин^{-1} или коллекторных электродвигателей, дающих возможность регулировать частоту вращения.

Перспективным является применение незасоряемых насосов при перекачке сточных вод. Во всасывающий патрубок такого насоса вмонтировано устройство типа решетки-дробилки, поэтому устанавливать решетки перед этими насосами не нужно.

Для подкачки сточных вод на небольшую высоту во избежание больших заглублений коллекторов в отечественной и зарубежной практике применяют шнековые подъемники. Этот подъемник прост по устройству, в работе почти безотказен, для установки его не нужно дорогостоящих зданий с наземными павильонами, он легко размещается в подземной камере. Важно и то, что он не требует извлечения из сточной воды крупных примесей.

Шнековые насосы стабильно работают в большом диапазоне изменения притока сточных вод к насосу. Для шнековых насосов общий к.п.д. насосной установки (вместе с приводом) составляет $50 \div 55 \%$. При проверке работоспособности шнековых насосов для перекачки загрязненных сточных вод установлено, что они одинаково хорошо транспортируют как мелкие, так и крупные примеси. Недостатком шнекового подъемника является то, что он не может подавать сточную воду в напорный трубопровод.

Кроме рабочих насосов на насосной станции должны быть установлены еще и резервные насосы: при числе рабочих насосов до двух – один насос; при числе рабочих насосов более двух – два насоса. При трех рабочих насосах марки Ф допускается преду-

смагивать установку одного резервного насосного агрегата при условии хранения второго (резервного) на складе насосной станции. При двух рабочих насосах марки Ф7200/24,9 допускается установка двух резервных насосных агрегатов. Подача резервного насосного агрегата должна быть равна максимальной подаче наиболее мощного рабочего агрегата.

Насосы желательно подбирать одинаковые по характеристике (диаметру, напору и подаче) для возможности замены одного насоса другим и, кроме того, однотипные, чтобы могла быть обеспечена взаимозаменяемость их деталей.

В целях упрощения эксплуатации насосов необходимо стремиться к их установке под заливом. Для пуска в работу насосов, расположенных выше отметки наивысшего уровня воды в приёмном резервуаре, должна быть предусмотрена установка двух вакуум-насосов или эжекторов (одного рабочего, другого – резервного).

Для каждого насоса предусматривается отдельная всасывающая труба; при работе насоса под заливом на всасывающей трубе устанавливается задвижка. Скорость движения сточных вод во всасывающих трубопроводах принимают равной $0,7 \div 1,5$ м/с, скорость движения сточных вод в напорных трубопроводах – $1,5 \div 2,5$ м/с.

При давлении в напорном трубопроводе более 0,3 МПа при каждом насосе следует предусматривать установку обратного клапана на напорной линии, что позволяет производить запуск насосов с открытой задвижкой и упрощает схему автоматического управления агрегата.

Запорно-регулирующая арматура трубопроводов должна иметь необходимый для нормальной эксплуатации комплект запасных частей и материалов. На насосной станции, оборудованной центробежными насосами с диаметром напорного патрубка более 200 мм, на каждом агрегате должны быть установлены расходомеры; при меньшем диаметре напорного патрубка отдельных расходомеров не устанавливают. В этом случае о подаче насосов судят на основании сопоставления показаний манометра и вакуумметра, а о нагрузке электродвигателя насоса – по амперметру. Для учета расхода воды на напорных линиях устанавливают колена-расходомеры.

В машинном отделении насосной станции должны быть указатели уровня воды в приемных резервуарах, а также сигнализация и телефонная связь. Насосные станции могут быть автоматические, полуавтоматические – с собственным или центральным диспетчерским пунктом и реже с ручным управлением. Перспективным является программное управление работой насосных станций.

Основной задачей автоматического управления является пуск и остановка электродвигателей насосных агрегатов в зависимости от уровня воды в приемном резервуаре, который контролируется с помощью многоточечного реле уровня.

Насосные станции для перекачки сточных вод должны иметь внутренний водопровод, отопление, достаточное освещение и приточно-вытяжную вентиляцию всех помещений. Температура воздуха в машинном отделении в отопительный период при постоянном пребывании обслуживающего персонала должна быть не менее +16 °С.

При автоматическом управлении агрегатами температура воздуха не должна быть ниже +5 °С. Для машинного зала при выделении тепла двигателями в количестве, превышающем теплотери помещения, необходимый обмен воздуха определяется расчетом, а при отсутствии избытков тепла принимается однократным в течение 1 часа. Тип оборудования, система управления и условия эксплуатации насосных станций могут быть весьма разнообразны, поэтому состав вспомогательных и бытовых помещений в каждом отдельном случае устанавливаются в зависимости от конкретной обстановки с учетом обязательных норм и требований органов Государственного санитарного надзора.

При устройстве и эксплуатации насосных станций для перекачки сточных вод должны выполняться требования техники безопасности. В связи с возможностью попадания газа в помещение машинного зала, грабельных и дробилок обслуживающему персоналу насосных станций запрещено курить и пользоваться приборами с открытым огнем в помещениях. В целях предосторожности в указанных помещениях должны быть сделаны соответствующие надписи в виде плакатов.

Выключатели на электроосветительной сети располагают не в помещениях приемного резервуара и машинного зала, а в тамбурах при входе в них. Электрическое освещение в этих помещениях принимают во взрывобезопасном исполнении.

В приемном резервуаре и грабельном помещении газовая сварка и электросварка запрещена, так как раскаленная окалина опасна и может служить причиной взрыва.

Насосные станции, как правило, должны проектироваться для работы без постоянного обслуживающего персонала. При этом рекомендуются следующие виды управления:

- автоматическое управление насосными агрегатами в зависимости от уровня сточной жидкости в приемном резервуаре;
- дистанционное или телемеханическое управление из диспетчерского пункта;
- местное управление периодически приходящим персоналом с передачей необходимых сигналов на диспетчерский пункт.

На насосных, оборудованных агрегатами с высоковольтными двигателями, допускается наличие постоянного обслуживающего персонала. Управление в этом случае должно производиться централизованно со щита управления, который рекомендуется устанавливать в отдельном помещении. При аварийном отключении рабочих насосных агрегатов следует предусматривать автоматическое включение резервных агрегатов.

При аварийном затоплении насосной станции необходимо предусматривать автоматическое отключение насосных агрегатов.

Пуск насосных агрегатов должен, как правило, производиться при открытых напорных задвижках. Пуск насосных агрегатов при закрытых задвижках производится при опасности гидравлических ударов, из-за условий запуска синхронных двигателей и в других обоснованных случаях.

На насосных станциях рекомендуется контролировать следующие технологические параметры: расход перекачиваемой жидкости; уровни в приемном резервуаре; уровни в дренажном приемке; давление в напорных трубопроводах; давление, развиваемое каждым насосным агрегатом; температуру подшипников. Кроме того, следует предусматривать местную аварийно-предупредительную

сигнализацию. При отсутствии обслуживающего персонала предусматривается дополнительная сигнализация на диспетчерский пункт или на пункт с круглосуточным дежурством.

10.2. Определение притока и откачки сточных вод

При проектировании насосной станции необходимо:

1) определить объем сточных вод, подлежащих перекачке, с учетом колебаний притока по часам суток, иначе говоря, определить подачу станции;

2) определить высоту, на которую должны быть подняты сточные воды, с учетом всех потерь напора вследствие сопротивлений на всасывающих и напорных трубопроводах и в арматуре на них.

На основании этих данных подбирают нужное число насосов, их тип и мощность двигателей. Вследствие того что приток сточных вод к насосной станции колеблется, а откачка их каждым насосом более или менее постоянна, необходимо иметь на станции приемный резервуар, служащий регулятором расхода.

Так как к станции притекают воды, содержащие большое количество загрязнений, приемный резервуар не должен быть больших размеров во избежание выпадения в нем осадков и загнивания сточных вод. Для этого необходимо, чтобы откачка воды насосами более или менее соответствовала колебаниям притока воды. Это достигается правильным подбором подачи насосов и режима их работы.

При проектировании насосных станций целесообразно предусматривать возможность автоматического включения и выключения насосов.

Для определения подачи насосов необходимо знать приток сточных вод к станции за каждый час суток, для чего следует разрабатывать так называемый ступенчатый график притока. Для подбора подачи насосов и для установления режима их работы удобнее пользоваться не ступенчатым, а суммарным или интегральным графиком.

Приток выражают в процентах от суточного расхода или в кубических метрах. Откачка воды насосами изображается на графике наклонными линиями, причем угол наклона к горизонту соответствует интенсивности откачки (чем больше угол наклона, тем интенсивнее откачка). Периоды остановки насоса изображаются горизонтальными линиями. Так как откачка воды, считая от какого-либо момента, не может быть больше притока за тот же период времени, то линии откачки должны располагаться ниже линии притока и не могут ее пересекать. Разность ординат между линией притока воды и линией откачки представляет собой разницу между объемом притекающей и объемом откачиваемой воды, т. е., иначе говоря, наличие воды в резервуаре в данный момент.

Если откачка производится равномерно в течение суток при непрерывной работе насосов, то часовая откачка составляет $100:24 = 4,17$ % суточного притока, и на графике она будет изображена прямой линией соответствующего наклона. Наклон этой линии определится, если соединить точку А, соответствующую 0 часам откачки 0 %, с точкой Б, соответствующей 24 часам и откачки 100 %.

Равномерная работа насосов требует больших объемов резервуаров. Для уменьшения вместимости резервуара необходимо, чтобы линия откачки по своему наклону возможно ближе подходила к линии притока. Например, при часовой подаче насоса 6 % суточного расхода можно установить такой режим работы (с тремя перерывами за сутки), что объем резервуара будет равняться всего 6 % суточного расхода.

Примерную подачу насосов подбирают с таким расчетом, чтобы она в наибольшей степени соответствовала режиму притока воды. По этой подаче подбирают насосы из числа изготавливаемых заводами. По графику притока и выбранной подаче насосов определяется необходимая частота включений и выключений агрегатов, зависящая от вместимости регулирующего резервуара. Вместимость резервуара должна быть не менее 5-минутной максимальной подачи одного из насосов. При автоматическом управлении насосами число их включений должно быть не более шести в 1 час.

Во всех случаях, когда выполнение указанных требований в отношении частоты включений агрегатов вызывает затруднения, необходимо проверять принятую вместимость резервуара расчетом по формуле:

$$W_{\text{мин}} = (Q_{\text{п}} / n) * (1 - (Q_{\text{п}} / Q_{\text{н}})), \quad (10.1)$$

где $Q_{\text{п}}$ – приток минимального расхода, м³/ч; $Q_{\text{н}}$ – подача насоса, м³/ч; n – число включений в 1 час.

Например, подставляя в формулу (10.1) численные значения притока 300 м³/ч и подачи насоса 450 м³/ч при $n = 6$, получим:

$$W_{\text{мин}} = (300 / 6) * (1 - (300 / 450)) = 16,666 \approx 17 \text{ м}^3.$$

И соответственно при $n = 3$, $W_{\text{мин}} \approx 34 \text{ м}^3$, и т. д.

10.3. Приемные резервуары

Как указывалось, вместимость приемных резервуаров определяется по графику притока и откачки сточных вод, при этом учитывается режим поступления стоков от промышленных предприятий. В некоторых случаях приходится устанавливать насосы, подача которых больше максимального притока сточных вод. Такая необходимость возникает, когда нельзя обеспечить требуемую (по нормам) скорость течения в напорном трубопроводе. Большие насосные станции устраивают иногда без резервуаров, но с прямыми для размещения сосунов насосов. На малых же насосных станциях, где ночной приток незначителен, вместимость приемного резервуара иногда приходится увеличивать до пределов, вмещающих этот приток, или делать станцию автоматической.

Прямки для воронок должны иметь размеры, достаточные для размещения в них всасывающих труб; диаметр всасывающей воронки D должен составлять $1,3 \div 1,5 * d$ (где d – диаметр всасывающей трубы).

Расстояние от центра воронки до стены прямка должно быть не менее величины D и во всех случаях не менее 300 мм. Глубину прямка принимают равной $40 \div 80$ см в зависимости от диаметра всасывающих труб. Дно приемного резервуара устраивают с уклоном к прямым для возможности полной откачки

воды из резервуара. Уклон должен быть не менее угла естественного откоса свежевыпадающего осадка (под водой).

При бытовых сточных водах и водах производственных, аналогичных бытовым по характеру осадка, принимают уклон к приемкам не менее 0,1.

Расчетный уровень воды в приемном резервуаре должен быть ниже отметки лотка подводящего коллектора во избежание подпора воды в этом коллекторе и отложения в нем осадка. По периметру наружных стен резервуара у его дна рекомендуется прокладывать трубопровод с открытыми отрезками-тройниками. Этот трубопровод присоединяют к напорным трубопроводам насосов, что дает возможность периодически взмучивать накапливающийся в резервуаре осадок. Последний смывают также и струей воды. Для этого в приемном резервуаре устраивают поливочный кран, оборудованный шлангом с брандспойтом.

Приемный резервуар при соответствующем обосновании может быть устроен отдельно от насосной станции, но обычно их размещают в одном здании.

Устройство приемного резервуара под полом машинного здания, как правило, не допускается.

Во избежание засорения и повреждения рабочих колес насосов сточная вода, поступающая на насосную станцию, должна проходить через решетки с механической очисткой, рассчитанные на задержание крупных примесей и посторонних предметов.

На насосных станциях рекомендуется применять решетки-дробилки для измельчения отбросов непосредственно в потоке сточной воды. Опыт эксплуатации показывает, что решетки-дробилки требуют установки резервной решетки обычного типа.

На крупных насосных станциях предусматривается устройство телевизионной установки, с помощью которой диспетчер наблюдает за работой решеток. При установке механизированных решеток с отдельными дробилками предусматривается также установка резервных решеток. Вокруг решеток с механизированной очисткой должны быть предусмотрены проходы шириной не менее 1,2 м, перед фронтом решеток – не менее 1,5 м. На подводящих каналах насосных станций необходимо устанавливать ши-

товые затворы перед решетками и после них для отключения и осмотра решеток.

Отбросы, задержанные решетками, размельчают в дробилках и затем сбрасывают в подводящий коллектор перед решеткой. Дробилки приводятся в действие электродвигателями. Существуют два вида дробильных аппаратов: ножевые и молотковые. Ножевая дробилка состоит из насаженных на валы ножей, которые режут и рвут на мелкие части отбросы, поддающиеся такому измельчению. Ножевые дробилки хорошо размельчают волокнистые отбросы, тряпье и пр., но плохо – более твердые вещества. Молотковые дробилки размельчают отбросы молотками до состояния мелкой трухи. Поэтому они получили более широкое применение.

Дробилки устанавливаются в помещении решеток так, чтобы был обеспечен свободный проход вокруг них шириной не менее 0,7 м, а перед загрузочным отверстием дробилки – не менее 1,5 м. К дробилкам должна быть подведена водопроводная вода из расчета 6÷10 л на 1 кг отбросов. Дробилку следует загружать небольшими порциями отбросов, чтобы не перегрузить двигатель.

Отбросы, не поддающиеся дроблению, должны собираться в контейнер и затем транспортироваться в отведенные места по указанию служб санэпиднадзора.

В приемном резервуаре и помещении, где установлены решетки, следует предусматривать приточно-вытяжную вентиляцию, естественную или искусственную, обеспечивающую пятикратный часовой обмен воздуха. Приемные резервуары насосных станций могут не отапливаться, если температура воздуха в них поддерживается не ниже +5 °С.

Защита приемного резервуара от затопления производится с помощью запорной арматуры на подводящем коллекторе, которая автоматически закрывается при подъеме воды в приемном резервуаре и прекращает подачу стоков в насосную станцию. Частичное открывание запорной арматуры предусматривается в том случае, если оставшийся в работе насос может откачать стоки из приемного резервуара. При этом степень открывания запорной арматуры должна определяться подачей этого насоса.

10.4. Напорные трубопроводы (водоводы)

Число напорных водоводов от насосных станций с учетом перспективного развития системы водоотведения рекомендуется принимать не менее двух. При проектировании водоводов может выявиться несколько возможных решений, как в отношении насосного оборудования, так и в отношении диаметров трубопроводов и их числа. Для выбора целесообразного решения в таких случаях необходимо технико-экономическое сравнение всех возможных вариантов.

Напорные трубопроводы при аварии на одном из них должны обеспечивать пропуск 100 % расчетной подачи насосной станции.

На практике диаметр трубопроводов и потери напора в них обычно определяют по таблицам для расчета напорных труб.

Число напорных водоводов принимают в зависимости от подачи насосной станции и очередности строительства водоотводящих сетей и сооружений из того условия, чтобы в разные периоды их развития в напорных водоводах были обеспечены самоочищающие скорости.

С этой целью часто во время строительства первой очереди системы водоотведения укладывают один напорный водовод, а затем, по мере увеличения притока сточных вод, укладывают дополнительные водоводы. Следует иметь в виду, что с уменьшением диаметра водовода увеличивается скорость движения в нем воды, возрастают потери на трение и, следовательно, увеличиваются напор и мощность насосов. Это ведет к увеличению размеров машинного отделения и расхода электроэнергии на перекачку сточных вод. Поэтому необходимый диаметр водоводов определяют исходя из так называемой экономической скорости движения воды в трубопроводе.

В связи со снижением стоимости электроэнергии можно увеличить экономические скорости движения воды. Так, при стоимости 1 кВт*ч электроэнергии 0,0054 тыйын, экономические скорости в трубопроводах могут быть повышены: для труб диаметром 200 мм – до 1,6 м/с; диаметром 500 мм – до 1,85 м/с; диаметром 800 мм – до 2 м/с и 1000 мм – до 2,25 м/с. Это позволит увеличить пропускную способность трубопроводов не менее чем на 50 %.

Для более точного определения диаметров водоводов производят технико-экономическое сравнение нескольких возможных вариантов; при этом для каждого из них выявляют строительную стоимость и ежегодные эксплуатационные расходы. При технико-экономическом сравнении можно учитывать только те виды расходов, которые связаны с изменением диаметров трубопроводов, если другие элементы не изменяются (стоимость насосной станции и ее оборудования, заработная плата персонала и др.).

Строительную стоимость водоводов определяют по сметам к техническому проекту. Эксплуатационные расходы, состоящие из прямых расходов и амортизационных отчислений, определяют по эксплуатационной смете.

Участок напорного водовода вблизи приемного резервуара укладывают с уклоном к нему для возможности опорожнения трубопровода в случае аварии и при ремонте. В пониженных точках водовода на ремонтных участках длиной 3÷5 км каждый, устраивают выпуски с задвижками. Выпуски следует располагать в таких местах, чтобы при опорожнении водовода не загрязнялась окружающая местность.

В местах расположения выпусков рекомендуется устраивать выпускные камеры из двух отделений – сухого с задвижкой и мокрого для откачки сточных вод при необходимости опорожнения трубопровода. Выпуск стоков из трубопровода в этом случае осуществляется в железобетонные резервуары, устанавливаемые также в пониженных местах ремонтных участков. При двух и более напорных линиях значительной протяженности (от 1,5 км и более) и при манометрическом напоре в них более 0,4 МПа на водоводах устанавливают камеры переключения, чтобы при аварии на каком-либо участке можно было выключать из работы только этот участок, а не весь трубопровод в целом.

На крупных напорных линиях устанавливаются электрифицированные задвижки для отключения ремонтных участков. В повышенных переломных точках профиля на водоводах устанавливают колодцы с вантузами. Диаметр вантуза для труб диаметром до 600 мм составляет 50 мм, до 1000 мм – 100 мм и выше 1000 мм – 150 мм.

Аварийные выпуски. Аварийные выпуски устраивают из ближайшего к насосной станции колодца подводящего коллектора. Они служат для сброса сточных вод в ближайший водоем, овраг, водосток и др., при длительной остановке насосов вследствие прекращения подачи электроэнергии или по другим причинам. Для этого в колодце должен быть затвор с дистанционным управлением привода для быстрого отключения коллектора. На устройство аварийного выпуска должно быть получено разрешение органов Государственного санитарного надзора. Колодец устраивают «сухим», т. е. вместо лотка в нем укладывают трубу, на которой и устанавливают затвор. Отметка устья аварийного выпуска при сбросе в водоем должна быть ниже меженного горизонта воды. Устьевую часть аварийного выпуска устраивают обычно в виде берегового оголовка; однако в зависимости от местных условий может потребоваться вывести устье аварийного выпуска в реку на некоторое расстояние от берега. Отметка верховья аварийного выпуска в смотровом колодце должна быть выше отметки самых высоких вод в водоеме для возможности спуска в водоем в это время сточной воды.

К пользованию аварийным выпуском следует прибегать только в исключительных случаях, когда по каким-либо причинам полностью прекращается подача электроэнергии к насосным агрегатам и приемный резервуар заполняется сточной водой. По санитарным соображениям аварийный выпуск должен включаться в работу только после создания некоторого подпора в водоотводящей сети, что дает возможность предусмотреть резерв времени для ликвидации аварии до включения в работу аварийного выпуска.

После сброса сточных вод через аварийный выпуск подводящий коллектор должен быть очищен механизмами от осевших в нем осадков и промыт водой.

В тех случаях, когда устройство аварийного выпуска по санитарным или другим причинам оказывается невозможным, необходимо принимать меры по обеспечению бесперебойной работы станции путем снабжения ее электроэнергией от двух независимых источников электроснабжения или путем установки резервных двигателей внутреннего сгорания.

10.5. Типы насосных станций

Наиболее широкое распространение получили насосные станции шахтного типа с наземным павильоном. В машинном помещении размещаются два агрегата с вертикальными насосами и два вспомогательных (для охлаждения и смазки подшипников). Насосные станции этого типа предназначены для перекачки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод, имеющих нейтральную или слабощелочную реакцию, без взрывоопасных примесей.

Для задержания твердых отбросов предназначена механизированная малогабаритная вертикальная решетка, установленная в приемном резервуаре. В грабельном помещении установлена молотковая дробилка для измельчения отбросов, которые после дробления подаются в сточную воду перед решеткой. Для монтажа и демонтажа оборудования установлена таль с ручным приводом грузоподъемностью 1 т. Проекты станции разработаны для глубины заложения подводящего коллектора от 3 до 7 м в сухих и мокрых грунтах. При глубине заложения подводящего коллектора 3 м строительство насосной станции предусмотрено в открытом котловане. При глубине заложения подводящего коллектора 5 м конструкция насосной станции разработана в двух вариантах: для условий ее строительства в сухих грунтах (в открытом котловане) и в мокрых грунтах (опускным способом).

Конструкция подземной части насосных станций для глубины заложения подводящего коллектора 7 м принята из условия ее строительства опускным способом. Пуск и остановка насосных агрегатов, а также замена остановившегося по каким-либо причинам рабочего агрегата запасным, выполняются автоматически, в зависимости от уровня воды в приемном резервуаре, с помощью электродного реле уровня. Предусматривается возможность местного кнопочного управления насосами. На насосной станции проектируется установка асинхронных короткозамкнутых электродвигателей, что значительно упрощает схему автоматики ввиду отсутствия в этом случае магнитных станций управления. Насосы установлены ниже уровня воды в приемном резервуаре и находятся под постоянным заливом, что значительно упрощает их автоматизацию.

На напорных трубопроводах после насосов установлены обратные клапаны.

Автоматическое управление станции предусматривает включение насосов при повышении уровня воды в приемном резервуаре до максимального значения, отключение их при достижении минимального уровня, включение резервного насоса при остановке рабочего, а также сигнализацию на щит показателей работы оборудования станции и превышения установленного уровня воды.

Пуск и остановка механизированной решетки автоматизируется с помощью реле времени. Предусмотрено также кнопочное управление.

При необходимости перекачки большого объема сточных вод в крупных городах строят круглые в плане насосные станции с большим числом мощных насосов.

На крупных насосных станциях устанавливается техническое телевидение для контроля отдельных агрегатов станций. Диспетчер, начальник данного участка и обслуживающий персонал могут следить на экране за работой отдельных агрегатов, особенно решеток. Таким образом, возможно быстрое обнаружение помех. Введение промышленного телевидения приводит к сокращению эксплуатационных затрат. Большое внимание уделяется дистанционной передаче параметров работающих агрегатов станции. Так, например, по заданной программе времени поступает вся необходимая техническая информация от маленьких насосных станций на главную насосную станцию города.

При строительстве насосных станций большое внимание уделяется технической эстетике.

Перекачка малых объемов сточных вод. Для передачи небольшого объема бытовых или близких к ним по составу производственных сточных вод, например от отдельных объектов при большом заглублении выпусков, а также от микрорайонов при плоском рельефе местности, применяют типовые автоматические станции перекачки. Станция оборудована насосами с напором 20–50 м и расходом 1,5–9,5 м³/час, при глубине заложения подводящего коллектора 3÷7 м. Для монтажа и демонтажа оборудования предусмотрен монорельс с талью грузоподъемностью 0,5 т.

Имеется ввод хозяйственно-питьевого водопровода. Отопление принято центральное водяное или электрическое. Вентиляция запроектирована приточно-вытяжная с механическим побуждением. Электроэнергия подается по двум питающим линиям 380/220 В.

Широкое применение будут иметь следующие насосные станции:

а) насосная станция с тремя незасоряющимися насосами с подачей 22 м³/ч, с напором 31 м;

б) насосная станция с погружными электронасосами подачей с подачей 5÷20 м³/ч, с напором 10÷40 м.

Применение этих станций позволит снизить строительную стоимость на 40 %, а эксплуатационные расходы на 30 % по сравнению с существующими насосными станциями.

Экономические показатели работы насосных станций. Чтобы правильно оценить экономику перекачки, необходимо проводить анализ работы системы в целом, т. е. совместную работу насосного оборудования и трубопроводов, взаимно увязанную с гидравлическим расчетом.

Экономические показатели системы зависят в основном от расхода электроэнергии, который определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = (Q * H * T) / (3,6 * 10^2 * \eta_H * \eta_{\mathcal{E}}), \quad (10.2)$$

где \mathcal{E} – расход электроэнергии за период времени T (сутки), кВт·ч; Q – подача станции, м³/сутки; H – средняя высота подъема, м; η_H и $\eta_{\mathcal{E}}$ – к.п.д. насоса и электродвигателя.

Из формулы (10.2) следует, что основными параметрами, определяющими показатель работы системы, являются объем поднимаемой сточной жидкости, средний за сутки напор насосов и коэффициент полезного действия агрегатов ($\eta_a = \eta_H * \eta_{\mathcal{E}}$).

Уменьшение расхода электроэнергии может быть достигнуто только в результате снижения потери напора и повышения коэффициента полезного действия агрегата. Показателем эффективности работы системы является удельный расход электроэнергии на 1000 м³ перекачиваемой сточной жидкости или на 10 МДж работы насосных агрегатов.

11. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

11.1. Состав и свойства сточных вод

По физическому состоянию загрязнения сточных вод делятся на:

а) нерастворимые примеси, находящиеся в воде в виде крупных взвешенных частиц (частицы диаметром более десятых долей миллиметра) и в виде суспензии, эмульсии и пены (частицы диаметром от десятых долей миллиметра до 0,1 мкм);

б) коллоидные частицы диаметром от 0,1 до 0,001 мкм;

в) растворимые частицы, находящиеся в воде в виде молекулярно-дисперсных частиц диаметром менее 0,001 мкм; они уже не образуют отдельной фазы, и система становится однофазной – истинным раствором.

По своей природе загрязнения делятся на: минеральные, органические, бактериальные и биологические.

Минеральные загрязнения представляют собой песок, глинистые частицы, частицы руды, шлака, растворы минеральных солей, кислот и щелочей, минеральные масла, железо, кальций, магний, кремний, калий и другие неорганические вещества.

Органические загрязнения бывают растительного и животного происхождения. К растительным относятся: остатки растений, плодов и овощей и злаков, бумага, масла (растительные) и пр. Основным химическим элементом этого рода загрязнений является углерод. К загрязнениям животного происхождения относятся физиологические выделения людей и животных, остатки мускульных и жировых тканей животных, клеевые вещества и пр. Они характеризуются довольно значительным содержанием азота. Кроме того, в сточных водах содержится фосфор, сера и водород.

Бактериальные и биологические загрязнения представляют собой различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные – возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др. Этот вид загрязнений свойствен в основном бытовым водам и некоторым видам производственных сточных вод (сточным во-

дам боен, кожевенных заводов, шерстомоек, биологических фабрик и т. п.). По своему химическому составу они относятся к органическим загрязнениям, но выделяются в отдельную группу ввиду особого взаимодействия с загрязнениями других видов.

Примерное соотношение загрязнений: минеральные вещества в загрязнениях сточных вод составляют 42 %, а органические – 58 %.

Загрязнения производственных сточных вод, представляющие собой остатки обрабатываемого сырья и реагентов, участвующих в технологическом процессе, чрезвычайно разнообразны; дать какую-либо типовую характеристику этих вод не представляется возможным, поэтому в каждом отдельном случае необходимо изучение их состава и свойств.

Наиболее характерными и опасными загрязнениями являются экстрагируемые вещества (преимущественно нефтепродукты), фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, тяжелые металлы (ртуть, цинк, железо), органические вещества. Резко увеличивается загрязнение водоемов сточными водами с сельскохозяйственных полей в связи с применением ядохимикатов. При рассмотрении состава сточных вод одним из основных понятий является концентрация загрязнений (т. е. масса загрязнений, приходящаяся на единицу объема воды), исчисляемая обычно в мг/л или в г/м³.

Обычно максимальные концентрации загрязнений бывают в утренние и вечерние часы, а минимальные – ночью. В зимний период концентрация загрязнений выше, чем летом, так как водоотведение на одного жителя зимой уменьшается. По сезонам года значительно изменяется и температура сточных вод.

Нерастворенные вещества в сточных водах. Нерастворенные вещества в сточных водах могут быть в грубодисперсном (в виде крупной взвеси) и тонкодисперсном (суспензии, эмульсии и пена) состоянии. При принятой методике анализов часть нерастворенных веществ в сточных водах, задержанных на бумажном фильтре, называют взвешенными веществами. Массу их определяют после высушивания при температуре +105 °С (т. е. по сухому веществу).

В зависимости от размеров отдельных частиц (степени дисперсности) и их плотности взвешенные вещества могут выпадать

в виде осадка, всплывать на поверхность воды или оставаться во взвешенном состоянии. Для большинства частиц, находящихся в воде в тонкодисперсном состоянии, вследствие их малого размера, силы сопротивления среды по сравнению с силой тяжести очень велики, поэтому такие частицы практически не осаждаются и остаются во взвешенном состоянии. Оседающими называют нерастворенные вещества, выпадающие на дно сосуда в виде осадка при 2-часовом отстаивании в лабораторных условиях: содержание оседающих веществ выражается по объему в мл/л или по массе (после сушки выпавшей взвеси при +105 °С и последующего взвешивания) в мг/л. Общая масса взвешенных веществ в бытовых сточных водах составляет около 65 г на одного человека в сутки, из них оседающих веществ – от 35 до 50 г (в среднем 40 г на одного человека в сутки по сухому веществу), что составляет 60÷75% общей массы. Концентрация оседающих веществ в сточных водах при норме водоотведения 200 л на одного человека в сутки колеблется от $35 \cdot 1000 / 200 = 175$ до $50 \cdot 1000 / 200 = 250$ мг/л; при норме водоотведения 250 л – от 140 до 200 мг/л, а при норме 300 л – не более 167 мг/л.

При удалении части домового мусора путем дробления и сплава по водоотводящей сети происходит значительное увеличение содержания взвешенных веществ в сточных водах. Количество отходов, подлежащих дроблению, составляет около 100 г на одного человека в сутки (по сухому веществу). Осадок смеси бытовых сточных вод с производственными по своей структуре обычно занимает промежуточное положение между зернистым и хлопьевидным, приближаясь скорее к последнему. В производственных сточных водах характер взвешенных веществ, а следовательно, и осадок могут быть самыми разнообразными.

Осадок состоит из нерастворимых веществ и в том виде, в каком он выпускается из сооружений предварительной очистки (отстойников), характеризуется большой влажностью. Влажность осадка представляет собой отношение массы воды в осадке к общей массе осадка и выражается в процентах. Влажность определяют путем взвешивания сырого и высушенного при +105 °С осадка.

Объем осадка при лабораторных исследованиях определяют в коническом сосуде или цилиндре (сосуде Лисенко) вместимо-

стью 0,5÷1 л, нижняя часть которого градуирована на кубические сантиметры. В сосуде, наполненном тщательно взболтанной жидкостью, определяют объем осадка, образующегося через 5, 10, 15, 30, 60, 90 и 120 мин отстаивания; результаты выражают в миллиметрах на 1 л жидкости, получая, таким образом, динамику выпадения осадка. Объем осадка, выпадающего через указанные интервалы времени, часто выражают в процентах от объема осадка, образовавшегося за 120 мин (2 часа) отстаивания, так как в бытовых водах процесс осаждения практически заканчивается в течение этого времени. Эти проценты показывают эффект осаждения.

Кроме оседающих веществ в сточных водах содержатся всплывающие примеси, имеющие плотность меньше единицы (жиры, нефть, масла и др.). При отстаивании эти вещества всплывают на поверхность жидкости в сосуде и могут быть также определены по объему или по массе.

Выпавший осадок бытовых вод при отстаивании в течение 2 ч имеет первоначальную влажность около 97,5 %. В дальнейшем осадок уплотняется, влажность его уменьшается до 93÷95 %, а содержание сухого вещества в единице объема повышается с 2,5 до 5÷7 %. В силу большой влажности осадка, с которой обычно приходится иметь дело (80 % и более), плотность осадка очень близка к плотности воды, поэтому можно считать, что объем осадка при изменении его влажности меняется в том же отношении, как и его масса. Объем (а, следовательно, и масса) сырого осадка при уплотнении уменьшается обратно пропорционально проценту содержания в нем сухого вещества.

Если обозначить через W_1 объем осадка при влажности p_1 %, а через W_2 объем того же осадка при влажности p_2 %, то

$$W_2 = W_1 * (100 - p_1) / (100 - p_2). \quad (11.1)$$

Изменяется объем осадка соответственно с изменением его влажности лишь при ее величине не менее 80 %. При дальнейшем удалении влаги осадок становится пористым, и изменение его объема уже не соответствует изменению влажности. Объем осадка, выпадающего в отстойниках при продолжительности отстаивания 1,5 ч, принято считать равным 0,8 л на одного человека

в сутки при влажности осадка 95 % (40 г по сухому веществу). Кроме того, нерастворимые вещества массой около 2 г на одного человека в сутки (по сухому веществу) задерживаются на решетках и около 12 г – в песколовках. Как указывалось, нерастворимые вещества, содержащиеся в сточных водах, состоят из органической и неорганической частей. Для определения массы тех и других осадок высушивают при температуре +105 °С, а затем воздушно-сухой осадок прокаливают при температуре +600 °С. При прокаливании органическая часть сгорает, а неорганическая остается в виде золы.

Отношение массы оставшейся золы к общей массе абсолютно сухого вещества осадка, выраженное в процентах, определяет зольность осадка; потеря при прокаливании (100 % минус зольность) определяет количество беззольного вещества.

В осадке бытовых сточных вод масса золы колеблется от 20 до 30 %, а масса беззольного вещества – от 70 до 80 %. Примесь к бытовым водам производственных сточных вод может значительно изменить зольность осадка в ту или другую сторону.

Коллоидные и растворенные вещества в сточных водах. На химический состав коллоидных и растворенных веществ бытовых сточных вод большое влияние оказывают белки, жиры, углеводы пищевых продуктов, а также состав водопроводной воды, содержащей обычно ту или иную концентрацию гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов и иногда железа. Содержание коллоидов в бытовых сточных водах составляет 30÷40 % содержания взвешенных веществ.

Белковые вещества в живом организме в процессе обмена веществ дают мочевины $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, которая под влиянием гнилостных бактерий в сточной воде подвергается гидролизу с образованием азота аммонийных солей:



В этом виде, т. е. в виде карбоната аммония, азот находится в сточных водах. В дальнейшем карбонат аммония, разлагаясь, может давать аммиак. Образование аммиака происходит по уравнению:



Необходимо различать азот, который присутствует в виде растворенного аммиачного газа, и азот, который присутствует в ионе аммония в истинном растворе. Аммиачный газ в концентрациях выше 4 мг/л может быть ядовит для некоторых видов рыбы, в то время как ион аммония не ядовит. Любая или обе формы аммиачного азота могут присутствовать в зависимости от рН и температуры воды.

При рН = 7 присутствуют только ионы аммония в истинном растворе; при рН = 12 присутствует только растворенный газ – аммиак; при $7 < \text{pH} < 12$ могут присутствовать обе формы.

Масса азота аммонийных солей на одного человека в сутки колеблется в очень небольших пределах: $7 \div 8$ г. Зная из анализа сточной воды концентрацию в ней азота аммонийных солей (например, 25 мг/л), можно определить норму водоотведения, которая составит от $7 * 1000 / 25 = 280$ до $8 * 1000 / 25 = 320$ л/сутки на одного человека.

Кроме азота, органические вещества, входящие в составе сточных вод, содержат углерод, серу, фосфор, калий, натрий и хлор в виде солей, а также железо. Масса этих веществ в бытовых водах при исчислении на одного человека в сутки более или менее одинакова.

Среднее содержание основных ингредиентов, по данным проф. С.Н. Строганова и по нормативным данным, приведено в таблице 11.1.

Содержание хлоридов также более или менее постоянно. Изменение массы хлоридов указывает на примесь производственных сточных вод. Масса загрязнений, поступающих со сточными водами от общественных учреждений (больниц, столовых и др.), которые обслуживают население, проживающее на территории обеспеченной системой водоотведения, учтено данными, приведенными в таблице 11.1.

Ввиду того, что загрязнения в производственных сточных водах весьма разнообразны по их характеру и массе и зависят не только от рода производства, но и от различных технологических процессов, дать какую-либо технологическую характеристику этих вод не представляется возможным. В каждом отдельном случае состав производственных сточных вод необходимо опре-

делять: по результатам качественного и количественного анализа сточных вод (для действующих предприятий); по данным, полученным от технологов производства о массе и качестве загрязнений, подлежащих спуску в систему водоотведения (для проектируемых предприятий); по данным о составе воды предприятий, имеющих аналогичные технологические процессы (для предварительных соображений).

Таблица 11.1 – Масса загрязнений бытовых сточных вод на одного жителя в сутки

Ингредиент	Масса загрязнений, г	
	по нормам	по С.Н. Строганову
Взвешенные вещества	65	35÷60
БПК ₅ неосветленной сточной воды	54	-
БПК ₅ осветленной сточной воды	35	35
БПК _{полн} неосветленной сточной воды	75	-
БПК _{полн} осветленной сточной воды	40	40÷50
Азот аммонийных солей N	8	7÷8
Калий (K ₂ O)	-	3
Фосфаты (P ₂ O ₅)	3,3	1,5÷1,8
В том числе от моющих средств	1,6	-
Хлориды пищевые	9	8,5÷9
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	2,5	-
Окисляемость перманганатная	-	5÷7

В последнее время возник новый вид сточных вод. Как известно, для производства атомной энергии в мирных целях широко используется вода. Особенность сточных вод такого производства состоит в том, что в них содержатся разнообразные радиоактивные элементы. Эти элементы вследствие излучения при известных условиях могут представлять опасность для здоровья людей и животных. Большая или меньшая степень опасности этих вод определяется природой находящихся в них радиоактивных элементов и их концентрацией, которая определяется анализом воды и выражается в единицах радиоактивности. За единицу радиоактивности принято кюри (1 кюри = 1000 мкюри = 1000000

мкюри), т. е. количество любого радиоактивного изотопа, излучающего $3,7 \cdot 10^{10}$ альфа-частиц в 1 с.

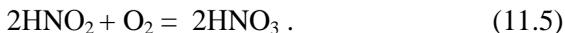
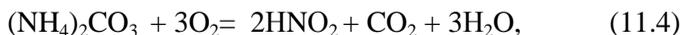
11.2. Нитрификация и денитрификация

При соответствующих условиях (наличие кислорода, температура выше $+4$ °С и др.) под действием аэробных микроорганизмов (нитрифицирующих бактерий) происходит окисление азота аммонийных солей, в результате чего образуются сначала соли азотистой кислоты, или нитриты, а при дальнейшем окислении – соли азотной кислоты, или нитраты, т. е. происходит процесс нитрификации. Этот биохимический процесс был открыт в 70-х годах XIX в. Но только в конце XIX в. русскому микробиологу С.Н. Виноградскому удалось выделить чистую культуру нитрифицирующих бактерий. Одна группа этих бактерий окисляет аммиак в азотистую кислоту (нитритные бактерии), вторая – азотистую кислоту в азотную (нитратные бактерии).

Нитрификация имеет большое значение в очистке сточных вод, так как этим путем накапливается запас кислорода, который может быть использован для окисления органических безазотистых веществ, когда полностью уже израсходован для этого процесса весь свободный (растворенный) кислород.

Связанный кислород отщепляется от нитритов и нитратов под действием микроорганизмов (денитрифицирующих бактерий) и вторично расходуется для окисления органического вещества. Процесс этот называется денитрификацией. Он сопровождается выделением в атмосферу свободного азота в форме газа.

Масса кислорода, заключающегося в нитритах и нитратах, может быть определена следующим образом. Реакция окисления азота аммонийных солей:



Для образования нитритов по уравнению (11.4) на 2 масс. ч. азота требуется 6 масс. ч. кислорода, а для образования нитратов по уравнению (11.5) – еще 2 масс. ч. кислорода, т. е. всего 8 масс. ч. Так как относительная атомная масса азота равна 14, а кисло-

рода – 16, то на окисление до нитратов требуется на $2-14 = 28$ масс. ч. азота $8-16 = 128$ масс. ч. кислорода, или на 1 мг азота $128 : 28 = 4,57$ мг кислорода.

В процессе денитрификации нитритов N_2O_3 освобождается несколько меньшая масса кислорода, так как часть его уходит на образование углекислоты и воды, а именно на 2 масс. ч. азота освобождается 3 масс. ч. кислорода, или на 1 мг азота $(16*3)/(14*2) = 1,71$ мг кислорода. При денитрификации нитратов N_2O_5 на 2 масс. ч. азота освобождается 5 масс. ч. кислорода, или на 1 мг азота $(16*5)/(14*2) = 2,85$ мг кислорода.

Процесс нитрификации является конечной стадией минерализации азотсодержащих органических загрязнений. Наличие нитратов в очищенных сточных водах служит одним из показателей степени их полной очистки; поэтому необходимо применять такие очистные сооружения, которые обеспечили бы оптимальные условия для жизнедеятельности нитрифицирующих бактерий.

11.3. Биохимическая и химическая потребность в кислороде

Степень загрязненности, как сточных вод, так и вод водоемов органическими веществами, содержащимися в растворенном виде и в виде не оседающих взвешенных и коллоидных частиц, может быть определена по содержанию кислорода, потребляемого на биохимическое окисление этих веществ в процессе жизнедеятельности аэробных бактерий. Величина эта носит название биохимической потребности в кислороде, обозначается БПК и численно выражается концентрацией кислорода в мг/л или г/м³. В некоторых случаях приходится исчислять суммарную биохимическую потребность в кислороде для всей массы органических загрязнений, сбрасываемых в водоем со сточными водами.

БПК определяют в зависимости от назначения анализа как в предварительно отстающей, так и в не отстающей сточной воде при температуре +20 °С. Таким образом, БПК показывает концентрацию кислорода, требуемого на окисление коллоидных и растворенных загрязнений, а также той части нерастворимых веществ, которые не задержаны в отстойниках. Такой метод ос-

нован на том, что в очистных сооружениях, как будет видно ниже, окислительному процессу подвергаются только эти вещества; нерастворимые же осаждающиеся вещества выделяются в отстойниках. В бытовых водах эти вещества составляют приблизительно 1/3 всех органических загрязнений.

Биохимическая потребность в кислороде определяется за 20 суток и обозначается БПК₂₀. Для многих видов сточных вод БПК₂₀ равна БПК_{полн} и принимается для расчета очистных сооружений.

Биохимическое потребление кислорода часто определяют за 5 дней (так называемая пятисуточная проба БПК₅), что соответственно указывается в результатах анализов. Определение БПК₅ рекомендуется как стандартное при эксплуатации очистных сооружений.

Периодически определяют БПК за более длительные сроки до начала нитрификации, которая обычно наступает на 10÷12-е сутки. Указанные сроки являются условными, так как скорость окисления зависит от вида окисляемых веществ и константы скорости потребления кислорода. В бытовых и близких к ним по составу производственных сточных водах за первые сутки потребляется около 21 % кислорода, за 5 суток – около 87,5 %, за 20 суток (БПК_{полн}) – почти 100 % кислорода, необходимого для окисления.

При разных значениях k_1 соотношение БПК₅ и БПК_{полн} будет различным. Так, при значении константы $k_1 = 0,1 * \text{БПК}_5$ составляет только 68,4 % полной биохимической потребности в кислороде.

При проектировании очистных сооружений определение БПК_{полн} сточных вод следует считать обязательным. Для отстоенных сточных вод при отсутствии экспериментальных данных с достаточной точностью можно принимать коэффициент пересчета с БПК₅ на БПК_{полн} равным 1,5. Полная величина БПК, или БПК₂₀, для отстойной бытовой воды составляет 40÷50 г кислорода на одного человека в сутки.

Концентрация всех загрязнений, в том числе и органических, как отмечалось выше, с увеличением нормы водоотведения уменьшается. Следовательно, БПК (L_a) бытовых сточных вод

может быть определена в зависимости от нормы водоотведения q , л/сутки, на одного человека по формуле:

$$L_a = a * (1000 / q), \quad (11.6)$$

где a – БПК₂₀, приходящаяся на одного человека, г/сутки.

В таблице 11.2 приведены значения БПК₂₀ бытовых вод при различных нормах водоотведения.

Однако проведенные исследования показали, что даже БПК₂₀ не в полной мере определяет общую массу органических веществ, содержащихся в сточных водах, так как не учитываются органическое вещество, идущее на прирост бактерий, и стойкие органические вещества, не затрагиваемые биохимическим процессом (таблица 11.2).

Таблица 11.2 – Зависимость биохимической потребности (БПК_{полн}) бытовых осветленных сточных вод от нормы водоотведения

Норма водоотведения на одного человека, л/сутки	100	125	150	170	200	250	300	350
БПК ₂₀ , мг/л	400÷ 500	320÷ 400	267÷ 333	235÷ 282	200÷ 250	160÷ 200	133÷ 166	112÷ 143

Для более полной оценки содержания органических веществ в сточной воде, особенно если она представляет собой смесь бытовых и производственных вод, определяют (кроме БПК) химическое потребление кислорода (ХПК).

Значение ХПК определяют при нагревании органических соединений с химически чистой концентрированной серной кислотой, к которой прибавляют йодат калия или соли хромовой кислоты, отдающие свой кислород на окисление. Для бытовых сточных вод БПК₂₀ составляет 86 % ХПК. Однако многие производственные сточные воды имеют ХПК, превышающую БПК₂₀ на 50 % и более.

11.4. Определение концентрации загрязнений сточных вод

Масса примесей в сточных водах может быть различна в зависимости от характера их образования. Для бытовых сточных

вод масса загрязнений, исчисленная на одного человека в сутки, остается более или менее постоянной. Концентрацию загрязнений определяют химическими анализами. Однако бытовые сточные воды городских систем водоотведения в большинстве случаев имеют ту или иную примесь производственных сточных вод, которые оказывают влияние на качественный состав сточных вод. Если к бытовым водам примешаны производственные сточные воды от большого промышленного предприятия, то по объему и данным анализов производственных вод этого предприятия можно вычислить значение $C_{см}$ каждого из ингредиентов в общем стоке по формуле:

$$C_{см} = ((C_{быт} * Q_{быт}) + (C_{пр} * Q_{пр})) / (Q_{быт} + Q_{пр}), \quad (11.7)$$

где $C_{быт}$ и $C_{пр}$ – концентрация вычисляемого вида загрязнений соответственно бытовых и производственных сточных вод, г/м³ или мг/л; $Q_{быт}$ и $Q_{пр}$ – средний расход бытовых и производственных сточных вод, м³/сутки или л/сутки.

Другой прием учета влияния производственных сточных вод заключается в определении эквивалентного числа жителей $N_{эkv}$, т. е. такого их числа, которое вносит такую же массу загрязнений, как и данный расход производственных вод. Например, если БПК₂₀ от одного жителя равно 40 г/сутки, то при БПК₂₀ производственных сточных вод $L_{пр}$, г/м³, получим:

$$N_{эkv} = (L_{пр} * Q_{пр}) / 40. \quad (11.8)$$

Прибавляя вычисленное эквивалентное число жителей к расчетному, получаем общее приведенное число жителей для расчета водоотводящих сетей и сооружений. В общем стоке, поступающем на очистные сооружения при раздельной системе водоотведения, БПК₅ можно принять равной 220 мг/л, а концентрацию взвешенных веществ – 240÷250 мг/л. На городские очистные станции поступают в основном бытовые и производственные сточные воды. В дальнейшем в крупных городах будет постепенно приниматься в городскую систему водоотведения часть поверхностного стока (весенний и дождевой сток и вода от поливки улиц), который будет очищаться совместно с бытовыми сточными водами на городских очистных станциях.

Исследования дождевых и талых вод в крупных городах России (Санкт-Петербург, Москва) показывают, что, при существу-

ющей организации мытья и очистки от мусора улиц и площадей БПК₂₀ в дождевом стоке составляет 80÷100 мг/л, а концентрация взвешенных веществ – 500÷1200 мг/л (зольность 50÷60 %). Кроме того, поверхностный сток с городской территории содержит и бактериальные загрязнения. Например, в стоке с улиц микробное число колеблется от десяти до сотен тысяч, а коли-титр – от 10⁵ до 250.

Учитывая, что крупные города близки друг другу по характеру благоустройства и по составу промышленности, можно принимать на расчетные сроки, следующие показатели:

БПК₂₀ – 90 мг/л, концентрация взвешенных веществ – 850 мг/л (зольность 55 %).

Для населенных пунктов, где применяются усовершенствование способов сбора, можно ожидать улучшение состава поверхностного стока с территории города: БПК₂₀ – 80 мг/л, концентрация взвешенных веществ – 500 мг/л (зольность 50 %).

11.5. Активная реакция сточных вод

Очень большое значение имеет активная реакция сточных вод (рН). Ранее отмечалось, что кислые воды действуют разрушающе на материал коллекторов. Еще большее значение имеет активная реакция сточных вод в процессах их очистки. Оптимальной средой для биохимических процессов очистки являются сточные воды, имеющие рН = 7÷8. Однако нитритные бактерии жизнеспособны при рН = 4,8÷8,8, нитратные – при рН = 6,5÷9,3.

Бытовые сточные воды имеют слабощелочную реакцию, обычно рН = 7,2÷7,6. Производственные сточные воды в зависимости от рода производства и характера технологического процесса отдельных цехов могут иметь различную реакцию – от сильнокислой до сильнощелочной. При сильно выраженной кислой или щелочной реакции сточных вод приходится предварительно нейтрализовать их, после чего они могут быть направлены на очистные сооружения или спущены в водоем, если по всем другим показателям они удовлетворяют правилам выпуска сточных вод в водоемы.

11.6. Бактериальные и биологические загрязнения сточных вод

Сточные воды содержат большое число микроорганизмов, в том числе болезнетворных (патогенных) бактерий, что делает эту воду опасной в санитарном отношении. В бытовых сточных водах встречаются бактерии брюшного тифа, дизентерии и другие возбудители желудочно-кишечных заболеваний, а также яйца гельминтов (глистов), поступающие в сточные воды с выделениями людей и животных.

Для определения зараженности воды болезнетворными бактериями проводят анализ на наличие в ней особого вида бактерий – группы кишечной палочки (бактерии *Coli*), являющейся типичным представителем кишечной микрофлоры. Кишечная палочка, не являясь сама по себе болезнетворной бактерией, служит показателем того, что вода загрязнена указанными выделениями, а следовательно, в ней могут быть и болезнетворные бактерии.

Чтобы оценить степень бактериального загрязнения воды, определяют коли-титр (титр кишечной палочки) или тот наименьший объем воды в миллилитрах, в котором содержится одна кишечная палочка. Так, если коли-титр кишечной палочки равен 100, это значит, что на 100 мл воды приходится одна кишечная палочка. При коли-титре, равном 0,1, число бактерий в 1 мл равно 10.

Для бытовых сточных вод коли-титр обычно составляет 0,000001 и ниже, т. е. одна бактерия *Coli* содержится в объеме сточной воды 0,000001 мл и меньше. Иногда определяют коли-индекс, т. е. число кишечных палочек в 1 л воды. Общий объем бактериальной массы (при содержании воды в теле бактерий 80÷85 %) в сточной жидкости, несмотря на микроскопические размеры бактерий, исчисляемые микрометрами, достаточно велик. При числе бактерий 100 млн в 1 мл стока объем бактериальной массы составляет 0,4 мл на 1 л, или 400 л на каждую 1000 м³ сточных вод.

11.7. Относительная стабильность (стойкость) сточных вод

Отношение содержания биохимически используемого кислорода O_2 , находящегося в жидкости в форме как растворенного кислорода, так и связанного кислорода нитритов и нитратов, к содержанию его, необходимому для окисления находящихся в этой жидкости органических веществ L , выраженное в процентах, называется относительной стойкостью или стабильностью воды S . Стойкость связана со сроком t (в сутках) загнивания жидкости, наступающего по исчерпанию всего запаса кислорода, и может быть рассчитана в процентах по выражению:

$$S = 100 * (1 - 10^{-k_1 * t}). \quad (11.9)$$

После подстановки значения $-k_1 = 0,1$ формула приобретает вид:

$$S = 100 * (1 - 0,794^t). \quad (11.10)$$

Так, при стойкости 50 % и температуре +20 °С загнивание начнется на третий день, при стойкости 80 % – на седьмой день, при стойкости 99 % – на двадцатый, при стойкости 100 % загнивания не будет совсем.

При температуре менее +20 °С стойкость увеличивается. Чем больше стойкость сточной воды, тем меньше опасность ее загнивания и вред, который она может причинить водоему (если вода не содержит токсичных веществ). Для бытовых сточных вод, поступающих на очистные сооружения, относительная стойкость меньше 11 %, а для вод, прошедших очистные сооружения, окисляющие органические соединения, она увеличивается до 99 %.

11.8. Использование сточных вод и образующегося при их очистке осадка для удобрений

В бытовых сточных водах, как уже указывалось, содержатся в значительной массе такие вещества, как азот, калий, фосфор, кальций и др., являющиеся ценными удобрениями для сельскохозяйственных культур. Поэтому использование сточных вод и об-

разующегося при их очистке осадка может сокращать или заменять введение в почву других удобрений. Как следует из данных таблицы 11.3, в бытовых сточных водах соотношение между основными элементами питания растений азотом, фосфором и калием составляет 5:1:2, в то время как соотношение этих элементов в навозе составляет 2:1:2,4. Большая часть азота и почти весь калий находятся в сточных водах в растворенном виде и хорошо усваиваются растениями, только фосфор в значительной части выпадает с осадком.

Таблица 11.3 – Содержание удобрительных веществ в бытовых сточных водах

Вещество	Содержание удобрительных веществ, г/м ³ , при водопотреблении на одного жителя, л			Содержание удобрительных веществ, %	
	100	200	400	в растворе	во взвешенном состоянии
Азот	60	30	15	85	15
Фосфор	12	6	3	60	40
Калий	25	12	6	95	5
Известь	100	50	25	-	-

Особенностью сточных вод, используемых в качестве удобрения, является то, что они содержат болезнетворные бактерии. Находясь в почве, гельминты сохраняют свою жизнеспособность до 1,5 лет. Поэтому загрязнять ими почву при поливах в вегетационный период не допускается. Неотстоенной сточной водой почву можно поливать только осенью и зимой. Для полного освобождения от яиц гельминтов сточные воды должны подвергаться отстаиванию в течение 1,5÷2 часов.

Осадок сточных вод является в основном азотно-фосфорным органическим удобрением с низким содержанием калия. Поэтому применение осадка сточных вод следует сочетать с внесением калийных удобрений. Кроме того, осадки сточных вод содержат в своем составе значительную массу кальция; их применение в качестве удобрений оказывает положительное действие на улучшение агрохимических свойств тяжелых дерново-

подзолистых почв и тем самым создает условия для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. С экономической и хозяйственно-организационной точки зрения осадки сточных вод целесообразнее применять с осени при вспашке зяби.

11.9. Условия спуска сточных вод в водоемы

В Кыргызской Республике действует ряд законов, ограничивающих выброс загрязнений во внешнюю среду; осуществляется нормирование потенциально опасных факторов внешней среды; принята система нормирования на основе предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных загрязнений. При выпуске сточных вод в водоемы учитывают предельно допустимые концентрации, определяемые на основе гидрологических и гидродинамических особенностей водоема, которые позволяют определять технологические и санитарно-технические мероприятия для предупреждения загрязнения водоема в каждом конкретном случае. Условия спуска сточных вод в водоемы регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», имеющими целью предупреждение и устранение существующего загрязнения сточными водами водоемов – рек, озер, искусственных каналов, водохранилищ.

«Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» установлены два вида нормативов качества воды в водоемах:

а) для водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования;

б) для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Основными мерами охраны воды от загрязнения считаются такие, которые частично устраняют образование сточных вод и исключают необходимость сброса их в водоемы. В соответствии с правилами запрещается спуск в водоемы тех сточных вод, которые могут быть устранены иными путями: применением рациональной технологии производства, повторным использованием отработавшей воды в системах оборотного водоснабжения и использованием сточных вод в целях сельскохозяйственного

орошения. Указанные мероприятия позволяют резко уменьшить объем сточных вод, подлежащих спуску в водоемы.

Наблюдение за выполнением условий спуска сточных вод в водоемы осуществляется службами санитарно-эпидемиологического надзора и водными бассейновыми инспекциями.

Нормативы качества воды водоемов питьевого и культурно-бытового водопользования

Правила устанавливают нормативы качества воды для водоемов по двум видам водопользования: к первому виду относятся участки водоемов, используемые в качестве источника для централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности; ко второму виду – участки водоемов, используемые для купания, спорта и отдыха населения, а также водоемы, находящиеся в черте населенных пунктов.

Отнесение водоемов к тому или иному виду водопользования производится органами Государственного санитарного надзора с учетом перспектив использования водоемов. Приведенные в правилах нормативы качества воды в водоемах относятся к створам, расположенным на проточных водоемах на 1 км выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания и организованного отдыха, территория населенного пункта и т. п.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – к створам в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.

Для каждого из двух видов водопользования правилами установлены приведенные ниже показатели состава и свойств воды водоема в пунктах питьевого и культурно-бытового водопользования.

Растворенный кислород. В воде водоема (после смешения с ней сточных вод) содержание растворенного кислорода должно быть не менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной в 12 ч дня.

Биохимическая потребность в кислороде. Биохимическая потребность в кислороде БПК_{полн} при температуре +20 °С не должна превышать 3 и 6 мг/л для водоемов соответственно первого и второго вида и морей.

Взвешенные вещества. Содержание взвешенных веществ в воде водоема после спуска сточных вод не должно увеличиваться более чем на 0,25 и 0,75 мг/л для водоемов соответственно первого и второго вида. Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания взвешенных веществ в воде в пределах 5 %. Сточные воды, содержащие взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,4 мм/с – для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ, спускать запрещается.

Запахи и привкусы. Вода не должна приобретать запахов и привкусов интенсивностью более 3 баллов для морей и 2 баллов, обнаруживаемых для водоемов первого вида непосредственно или при последующем хлорировании и для водоемов второго вида непосредственно. Вода не должна сообщать посторонних запахов и привкусов мясу рыб.

Окраска не должна обнаруживаться в столбике воды высотой 20 см для водоемов первого вида и 10 см для водоемов второго вида и морей.

Реакция воды водоема после смешения ее со сточными водами должна быть $6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$.

Ядовитые вещества не должны содержаться в концентрациях, которые могли бы оказать прямо или косвенно вредное действие на организм и здоровье населения.

Плавающие примеси. Сточные воды не должны содержать минеральных масел и других плавающих веществ в таком объеме, который способен образовать на поверхности водоема пленки и пятна.

Возбудители заболеваний не должны содержаться в воде. Сточные воды, содержащие возбудители заболеваний, должны подвергаться обеззараживанию после соответствующей очистки. Методы обеззараживания биологически очищенных бытовых сточных вод должны обеспечивать коли-индекс не более 1000 при остаточном хлоре не менее 1,5 мг/л.

Коли-индекс для морской воды должен быть согласован с органами Государственного санитарного надзора.

Минеральный состав для водоемов первого вида не должен превышать по плотному остатку 1000 мг/л, в том числе хлоридов

350 мг/л и сульфатов 500 мг/л, а для водоемов второго вида нормируется по приведенному выше показателю «Привкусы».

Температура воды водоема в результате спуска в него сточных вод не должна повышаться летом более чем на +3 °С по сравнению с среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.

Большое внимание уделяется предупреждению и устранению загрязнения озер и морей. В правилах указывается, что нормативы качества морской воды, которые должны быть обеспечены при спуске сточных вод, относятся к району водопользования в отведенных границах и к створам на расстоянии 300 м в стороны от этих границ. При выпуске производственных сточных вод в море содержание вредных веществ в воде прибрежных районов моря не должно превышать предельно допустимые концентрации, установленные по санитарно-токсикологическому, общесанитарному и органолептическому признакам вредности.

Требования к спуску сточной воды в море дифференцированы в зависимости от вида водопользования: для лечебных целей и для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов, где остро ощущается недостаток в пресной воде, для спортивных и оздоровительных мероприятий. При решении вопросов охраны моря от загрязнения должны быть учтены требования органов рыбоохраны.

Для предотвращения загрязнения поверхностных вод водным транспортом должны выполняться «Санитарные правила для речных и озерных судов». Согласно этим правилам категорически запрещается выпускать за борт нефтепродукты, а также загрязненные нефтепродуктами подсланевые, балластные и промывные воды. Загрязненные нефтепродуктами воды на судах следует собирать в емкости и затем передавать их на береговые очистные сооружения.

Нормативы качества воды водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях

Нормативы качества воды водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях, установлены применительно к двум видам этого использования:

- к первому виду относятся водоемы, используемые для воспроизводства и сохранения ценных пород рыб;

- ко второму – водоемы, используемые для всех других рыбохозяйственных целей.

Вид рыбохозяйственного использования водоема определяется органами Рыбоохраны с учетом перспективного развития рыбного хозяйства и промысла. Нормативы состава и свойств воды водоемов, используемых для рыбохозяйственных целей, в зависимости от местных условий могут относиться или к району выпуска сточных вод при быстром смешении их с водой водоема, или к району ниже спуска сточных вод с учетом возможной степени их смешения и разбавления в водоеме на участке от места выпуска сточных вод до ближайшей границы рыбохозяйственного участка водоема. На участках массового нереста и нагула рыб спуск сточных вод не разрешается.

При выпуске сточных вод в рыбохозяйственные водоемы предъявляются более высокие требования, чем при выпуске сточных вод в водоемы, используемые для питьевых и культурно-бытовых нужд населения.

Растворенный кислород. В зимний период количество растворенного кислорода не должно быть ниже 6 и 4 мг/л для водоемов соответственно первого и второго вида, в летний период во всех водоемах – не ниже 6 мг/л в пробе, отобранной до 12 ч дня.

Биохимическая потребность в кислороде. Величина БПК_{полн} при +20 °С не должна превышать 3 мг/л в водоемах обоих видов. Если в водоеме содержание кислорода в зимний период падает ниже 40 % нормального насыщения, то допускается сброс в них только тех сточных вод, которые не изменяют БПК воды.

Если в зимний период содержание растворенного кислорода в воде водоемов первого и второго вида водопользования снижается соответственно до 6 и 4 мг/л, то можно допустить сброс в них только тех сточных вод, которые не изменяют БПК воды. Ядовитые вещества в сточных водах не должны содержаться в концентрациях, которые могут оказать прямо или косвенно вредное действие на рыб и водные организмы, служащие кормом для рыб.

Температура является одним из факторов, влияющих на токсичное воздействие веществ на микроорганизмы. С повышением температуры восприимчивость организмов к токсичным веществам увеличивается.

Охрана водоемов от загрязнения радиоактивными веществами. Запрещается спуск в систему водоотведения и водоемы пульп, осадков и концентрированных кубовых остатков, образующихся в результате обезвреживания радиоактивных сточных вод, а также высокоактивных жидких отходов. Спуск сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, в бытовую водоотводящую сеть регламентируется «Санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений». При сбросе таких сточных вод непосредственно в водоемы содержание в них радиоактивных веществ не должно превышать установленных предельно допустимых концентраций: например, урана-240 – не более 10^{-7} кюри/л, а стронция-90 – только $3 \cdot 10^{-11}$ кюри/л. Также запрещается спуск сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, в пруды, предназначенные для разведения рыбы и водоплавающей птицы, в ручьи и другие водоемы, вода из которых может поступать в эти пруды.

Указанные выше условия спуска сточных вод в водоемы, изложенные в правилах, распространяются на все объекты, имеющие системы водоотведения независимо от их ведомственной принадлежности. Согласование с органами Государственного санитарного надзора условий отведения сточных вод в водоем производится при выборе и отводе площадки для нового объекта, при рассмотрении вопроса о реконструкции (расширении) предприятия или об изменении технологии производства, а также при рассмотрении проектов систем водоотведения, очистки и обезвреживания сточных вод.

Критерии оценки загрязненности воды приведены в таблице 11.4.

Таблица 11.4 – Критерии оценки загрязненности воды

Показатели	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация для водопользования, в мг/л	
		санитарно-бытового	рыбохозяйственного
Растворенный кислород	Общесанитарный	> 4	> 6
БПКполн	Общесанитарный	3 и 6	≤ 3
NH ₄ ⁺ (по азоту)	Общесанитарный	≤2*	-
Бензол	-	> 0,5	> 0,5
Окисляемость:			
перманганатная	-	≤10	-
бихроматная	-	≤30	-
Fe (Fe ³⁺)	Органолептический	≤0,5	-
Фенолы	Органолептический	≤0,001	≤0,001
Нефтепродукты	Органолептический	≤0,3	≤0,05
Экстрагируемые вещества	Органолептический	≤0,1	≤0,05
NO ₃ ⁻ (по азоту)	Санитарно-токсикологический	≤10**	-
F ⁻	Санитарно-токсикологический	≤1,5	≤1,5
Примечание: * или 2,57 мг/л NH ₄ ⁺ ; ** или 44 мг/л NO ₃ ⁻ .			

11.10. Определение необходимой степени очистки сточных вод

Сточные воды, спускаемые в водоем, должны быть очищены до такой степени, чтобы они не оказывали на него вредного влияния. Для того чтобы правильно определить необходимую степень очистки сточных вод, в каждом случае нужно иметь подробные данные об их объеме и составе, а также данные детальных обследований водоема, позволяющие характеризовать местные гидрологические и санитарные условия. Необходимая степень очистки

сточных вод определяется применительно к общесанитарным и органолептическим показателям вредности и к каждому из нормативных показателей загрязнения. Расчеты по определению необходимой степени очистки сточных вод, спускаемых в водоем, производят по содержанию взвешенных веществ, потреблению сточными водами растворенного кислорода, допустимой величине БПК в смеси речной воды и сточных вод, изменению активной реакции воды водоема, окраске, запаху, солевому составу и температуре воды, а также по предельно допустимым концентрациям токсичных примесей и других вредных веществ.

Связь между санитарными требованиями к условиям спуска сточных вод в водоемы (соответствие состава и свойств воды водоема, используемого для водопользования населения, установленным нормативам) и необходимой степенью очистки сточных вод перед спуском их в водоем, в общем виде выражается формулой:

$$C_{ст} * q + C_p * a * Q \leq (a * Q + q) * C_{пр. д.}, \quad (11.11)$$

где $C_{ст}$ – концентрация загрязнения (вредного вещества) сточных вод, при которой не будут превышены допустимые пределы (расчетный показатель состава и свойств воды в соответствии с санитарными требованиями); C_p – концентрация этого же вида загрязнения (вредного вещества) в воде водоема выше места выпуска рассматриваемого стока; Q и q – расход воды в водоеме и расход сточных вод, поступающих в водоем (в одинаковом измерении); a – коэффициент обеспеченности смешения, определяющий долю расчетного расхода водоема Q , который реально может участвовать в разбавлении сточных вод; $C_{пр. д.}$ – нормативный показатель или предельно допустимое содержание загрязнения (вредного вещества) в воде водоема.

Определение необходимой степени очистки по содержанию взвешенных веществ. Допустимое содержание взвешенных веществ m в спускаемых сточных водах в соответствии с санитарными правилами может быть подсчитано по уравнению:

$$a * Q * b + q * m = (a * Q + q) * (b + p), \quad (11.12)$$

откуда

$$m = p * ((a * Q) / q + 1) + b, \quad (11.13)$$

где b – содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м³; p – допустимое по санитарным правилам увели-

чение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м³.

Степень необходимой очистки по взвешенным веществам может быть определена по формуле:

$$D = 100 * (C - m) / C, \quad (11.4)$$

где C – количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м³.

Во избежание отложения взвешенных веществ в водоеме гидравлическая крупность их не должна превышать при выпуске в реку 0,4 мм/с и в водохранилище 0,2 мм/с.

Определение необходимой степени очистки по БПК_{полн}. При расчете учитывается изменение степени загрязненности за счет разбавления сточных вод водой водоема, а также за счет биохимических процессов самоочищения сточных вод от органических веществ.

Из баланса биохимической потребности в кислороде смеси речной и сточной воды в расчетном пункте (без учета реаэрации) получается уравнение, по которому определяется необходимая степень очистки по БПК_{полн}:

$$L_{ст} = ((a*Q)/(q*10^{-kt_{ст}}))*(L_{пр.д.} - L_p*10^{-kt_p}) + (L_{пр.д.}/10^{-kt_p}). \quad (11.15)$$

Если фактическая БПК_{полн} подлежащей сбросу сточной воды $L_a > L_{ст}$, то до выпуска в водоем сточная вода должна быть очищена. Необходимый эффект очистки определяется выражением:

$$\Theta = 100 * (L_a - L_{ст}) / L_a. \quad (11.16)$$

Определение необходимой степени очистки по растворенному в воде водоема кислороду. Допустимую максимальную величину БПК спускаемых в водоем сточных вод определяют исходя из требований санитарных правил о сохранении в водоеме минимального содержания растворенного кислорода, равного 4 мг/л, после спуска сточных вод.

Расчеты ведут для величины БПК_{полн}.

Аналогичным образом производят расчеты и для кислородного режима рыбохозяйственных водоемов при допустимом минимальном содержании растворенного кислорода 6 мг/л.

Кислородный режим в водоемах определяют для летнего и зимнего периода; в качестве расчетного следует принимать наиболее неблагоприятный период, требующий сохранения необходимого содержания кислорода.

Как уже указывалось, окисление органических веществ в водоеме происходит за счет растворенного кислорода и реаэрации. Кроме того, в окислении участвует кислород от фотосинтеза, который учитывают только в расчетах при проектировании окислительных прудов или лагун, где фотосинтезирующим организмам фитопланктона (водоросли хлорелла и др.) принадлежит ведущая роль. Наименьшее содержание кислорода в воде водоема после спуска сточных вод будет наблюдаться в критической точке. Если в этой точке содержание растворенного кислорода будет не меньше 4 мг/л, то во всех остальных пунктах по течению реки водоема оно, очевидно, будет больше, и, следовательно, требование санитарных правил будет удовлетворено.

Существует ряд способов определения допустимой нагрузки сточных вод на водоем по содержанию кислорода, растворенного в воде водоема. Наиболее простой способ расчета 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 содержащегося в речной воде растворенного кислорода не станет ниже 4 мг/л в течение первых двух суток, то это снижение не произойдет и в дальнейшем.

Другой способ позволяет учитывать процессы поглощения кислорода сточными водами из речной воды и поверхностную реаэрацию. При расчете кислородного баланса реки по этому способу кроме указанных выше величин учитывают:

- а) среднюю скорость движения воды в водоеме v , м/с;
- б) температуру воды в реке в расчетный период T , °С;
- в) константы (постоянные величины в соответствующих уравнениях) скорости биохимического поглощения кислорода k_1 и скорости поверхностной реаэрации k_2 .

Расчет кислородного режима будет более точным и полным в том случае, если все указанные величины определены прямым

путем в порядке предварительного изучения участка реки, в который предполагается спускать сточные воды. Если такое предварительное изучение неосуществимо, прибегают к косвенным приемам определения этих величин. Например, для установления T и v используют данные, публикуемые в специальных справочниках, а для установления численных значений k_1 , k_2 , O_p – данные наблюдений, проводившихся на других водоемах, или вычисляют по формулам.

Таким образом, определяется практическая цель расчета, дающего прямой ответ на вопрос о допустимости той нагрузки водоема органическими веществами, которая была определена при расчете по БПК с учетом частичного окисления (минерализации) органических веществ при перемещении воды к ближайшему пункту водопользования. Иначе говоря, должно быть проверено, будет ли допускаемое по БПК загрязнение водоема угрожать его кислородному режиму, т. е. останется ли в воде 4 мг/л кислорода и в критический момент времени $t_{кр}$. При этом величина L_a является средней и определяется из уравнения:

$$L_a = (L_p * a * Q + L_{ст} * q) / (a * Q + q). \quad (11.17)$$

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. Это условие описывается уравнением:

$$T_{ст} = (((a * Q) / q) + 1) * T_d + T_p, \quad (11.18)$$

где $T_{ст}$ – температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования; T_p – максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время; T_d – допустимое повышение (не более чем на +3 °С) температуры воды водоема.

Определение необходимой степени очистки по общесанитарному показателю вредности. При определении необходимой степени очистки сточных вод по санитарно-токсикологическому, а также по общесанитарному и органолептическому (окраска, запах и привкус) показателям вредности, по которым установлены предельно допустимые концентрации, пользуются формулой (11.19).

$$C_{\text{ст}} \leq ((a * Q) / q) * (C_{\text{пр.д.}} - C_p) + C_{\text{пр.д.}}, \quad (11.19)$$

где q – определяется проектом на основании замеров или технических расчетов; a и Q – определяются проектной организацией на основе местных гидрологических изысканий или данных гидрометеорологической службы; C_p и $C_{\text{пр.д.}}$ – определяются на основе специально организуемых исследований, если отсутствуют установленные нормативы или литературные данные.

Полученное по этой формуле значение $C_{\text{ст}}$ характеризует концентрацию загрязнения сточных вод, которая должна быть достигнута в процессе очистки и обезвреживания сточных вод.

Определение необходимой степени разбавления по окраске, запаху и привкусу. В тех случаях, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах сточных вод исчезают, достаточно сравнение величины разбавления, указанной в анализе, с расчетной величиной разбавления, которое возможно у створа ближайшего пункта водопользования, чтобы решить вопрос о необходимости очистки сточных вод в отношении запаха и окраски перед их спуском в водоем.

Определение необходимой степени очистки по изменению активной реакции воды. При решении вопроса о спуске кислых и щелочных сточных вод должна быть учтена нейтрализующая способность водоема. В некоторых случаях благодаря этой способности можно обойтись без специальной обработки сточных вод. Вода водоемов содержит гидрокарбонаты кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, обуславливающие ее карбонатную жесткость, а также угольную кислоту.

Кислоты, поступающие в водоем с производственными сточными водами, взаимодействуют с гидрокарбонатами, вытесняя из них диоксид углерода, в связи с чем, содержание гидрокарбонатов в воде (т. е. ее щелочность) уменьшается, а содержание свободной уголекислоты увеличивается.

Поступление в водоем вместе со сточными водами щелочей приводит к взаимодействию их со свободным диоксидом углерода, что увеличивает щелочность водоема.

В любом случае интервал фактического изменения активной реакции воды должен быть в диапазоне: $6,5 \leq \text{pH}_{\text{факт}} \leq 8,5$.

12. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И СХЕМЫ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ

12.1. Методы очистки сточных вод и обработки осадка

Методы, применяемые для очистки сточных вод, могут быть разделены на три группы:

- 1) механические;
- 2) физико-химические;
- 3) биологические.

Для ликвидации бактериального загрязнения сточных вод применяют их обеззараживание (дезинфекцию).

Развитие техники очистки сточных вод должно идти в направлении интенсификации приемов биологической очистки, создания высокоэффективных методов физико-химической очистки, разработки технологических процессов, сочетающих принципы биологической и физико-химической очистки с одновременным изысканием путей повторного использования очищенных городских сточных вод в различных отраслях народного хозяйства и, в первую очередь, в промышленности. Повышение требований к степени полной биологической очистки определило развитие так называемой доочистки сточных вод.

Образующийся при очистке сточных вод осадок подвергается обработке с целью утилизации в качестве органо-минерального удобрения.

Механическая очистка производится для выделения из сточной воды находящихся в ней нерастворенных грубодисперсных примесей путем процеживания, отстаивания и фильтрования.

Для задержания крупных загрязнений и частично взвешенных веществ применяют процеживание воды через различного рода решетки и сита.

Для выделения из сточной воды взвешенных веществ, частицы которых имеют большую или меньшую плотность, чем плотность воды, применяют отстаивание. При этом тяжелые частицы осаждаются на дно под действием силы тяжести, а легкие всплывают на поверхность.

Взвешенные частицы минерального происхождения, главным образом песка, выделяют из сточных вод путем осаждения в сооружениях, называемых песколовками.

Основную массу более мелкой взвеси, преимущественно органического характера, выделяют из сточных вод в отстойниках.

Вещества, более легкие, чем вода – жиры, масла, нефть, смолы и другие всплывающие на поверхность вещества – выделяются в сооружениях, называемых жироловушками, маслоуловителями, нефтеловушками и смолоуловителями; эти сооружения применяются для очистки производственных сточных вод. Отдельные жироловушки для выделения жиров из бытовых сточных вод в настоящее время не применяют, так как эту задачу выполняют отстойники, оборудованные специальными устройствами.

Наконец, для освобождения сточных вод от частиц очень мелкой суспензии, находящейся во взвешенном состоянии, применяют фильтрование сточных вод путем пропуска их через ткань (сетку) или слой зернистого материала, на поверхности и в толще которого задерживается выделяемая из сточных вод взвесь. Фильтрование находит применение при механической очистке главным образом производственных сточных вод.

Механическую очистку как самостоятельный метод применяют в тех случаях, когда достигаемое при ее применении освобождение сточных вод от загрязнений позволяет (по местным условиям и в соответствии с санитарными правилами) использовать осветленную воду для тех или иных производственных целей или спускать эти воды в водоем. Во всех других случаях механическая очистка служит предварительной стадией перед биологической очисткой. Как показали данные эксплуатации отстойников на ряде очистных станций, в осадок выпадает не более 80 % осаждающихся взвешенных веществ, т. е. не более 60 % общей массы взвешенных веществ, находящихся в сточных водах. Более высокий эффект может быть получен путем применения различных средств интенсификации процесса осветления. К числу их относятся биокоагуляция, осветление со взвешенным фильтром и преаэрация с избыточным илом или без него.

Физико-химические методы очистки заключаются в том, что в очищаемую воду вводят какое-либо вещество – реагент (коагу-

лянт и флокулянт). Вступая в химическую реакцию с находящимися в воде примесями, эти вещества способствуют более полному выделению нерастворенных примесей, коллоидов и части растворенных соединений и тем самым уменьшают их концентрацию в сточной воде; переводят растворимые соединения в нерастворимые или в растворимые, но безвредные; изменяют реакцию сточных вод, в частности нейтрализуют их; обесцвечивают окрашенную воду и пр.

Современные исследования свидетельствуют о возможности обеспечения глубокой очистки сточных вод физико-химическими методами. Освоение такой очистки по стадиям позволяет резко интенсифицировать механическую очистку сточных вод или заменить биологическую очистку.

Физико-химические методы чаще всего применяют при очистке производственных сточных вод. При этом в зависимости от местных условий тот или иной метод может явиться окончательной стадией (если достигаемая степень очистки достаточна для использования сточных вод повторно) либо предварительной стадией (например, при удалении ядовитых соединений или каких-либо других веществ, препятствующих нормальной работе последующих очистных сооружений).

Биологические методы очистки основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые способствуют окислению или восстановлению органических веществ, находящихся в сточных водах в виде тонких суспензий, коллоидов и в растворе и являющихся для микроорганизмов источником питания, в результате чего и происходит очистка сточных вод от органических загрязнений. Существующие в настоящее время сооружения для биологической очистки сточных вод могут быть разделены на два основных типа:

1) сооружения, в которых очистка происходит в условиях, близких к естественным;

2) сооружения, в которых очистка происходит в искусственно созданных условиях.

Сооружения для биологической очистки в естественных условиях, в свою очередь, могут быть разделены на сооружения, в которых происходит фильтрование очищаемых сточных вод

через почву (поля орошения и поля фильтрации), и на сооружения, представляющие собой водоемы (биопруды), заполненные протекающей очищаемой сточной водой. В сооружениях первого типа питание кислородом идет за счет непосредственного поглощения его микроорганизмами из воздуха. В сооружениях второго типа питание кислородом идет главным образом за счет диффузирования его через поверхность воды (реаэрация) или за счет механической аэрации. Климатические условия и большая занимаемая площадь ограничивают развитие естественных приемов биологической очистки сточных вод (биопруды, поля орошения, поля фильтрации).

Для биологической очистки сточных вод в искусственных условиях применяют аэротенки, биофильтры и аэрофильтры. В этих сооружениях очистка протекает более интенсивно, чем на полях орошения, полях фильтрации и прудах, потому что искусственным путем создаются лучшие условия для развития активной жизнедеятельности микроорганизмов.

Интенсивностью процесса очистки сточных вод в том или ином сооружении определяется окислительная мощность сооружения, под которой понимается число граммов кислорода, получаемое с 1 м^3 сооружения в сутки и используемое для снижения биологической потребности в кислороде сточных вод, окисления аммонийных солей до нитритов и нитратов, а также для повышения содержания в сточных водах растворенного кислорода.

Окислительная мощность для различных сооружений колеблется в широких пределах. При повышенных требованиях к степени очистки биологически очищенная вода подвергается доочистке. Наиболее широкое распространение в качестве сооружений для доочистки получили песчаные фильтры, главным образом двух- и многослойные, а также контактные осветлители; микрофильтры применяются реже.

Снижение концентрации трудноокисляемых веществ, фиксируемое значением ХПК очищенных вод, возможно осуществлять методом сорбции, например активированным углем, и химическим окислением, например, путем озонирования.

Снижение концентрации солей возможно методами обессоливания, применяемыми в практике водоподготовки.

Очистка от биогенных элементов. Биологически очищенная вода содержит аммонийный азот и фосфор в значительной концентрации. Азот и фосфор способствуют усиленному развитию водной растительности, последующее непереносимое отмирание которой приводит к вторичному загрязнению водоема.

Подсчитано, что 1 мг азота продуцирует 10 мг водной растительности, а 1 мг фосфора – 115 мг. Азот удаляют физико-химическими и биологическим методами. Первый метод заключается в повышении рН воды до 10÷11 путем известкования (в результате получения NH_4OH) с последующей отдувкой аммиака воздухом в градирнях.

Биологический метод осуществляется в две ступени. На первой ступени в аэротенке длительной аэрации при отсутствии углеродсодержащих загрязнений (удаленных в обычном аэротенке) интенсивно проходят процессы нитрификации. На второй ступени применяется денитрификатор – сооружение, изолированное от доступа воздуха. В анаэробных условиях бактерии-денитрификаторы используют для своей жизнедеятельности химически связанный кислород нитритов и нитратов и разрушают, таким образом, эти соединения, в результате чего выделяется молекулярный азот.

Фосфор удаляют химическим осаждением солями железа, алюминия, известью. Реагенты подают либо в сточную воду перед первичными отстойниками, либо в очищенный сток перед вторичными отстойниками, либо в аэротенк. Наиболее эффективным является последний вариант. Эффект удаления фосфора достигает 80 %.

Дезинфекция очищенных сточных вод. В практике очистки сточных вод дезинфекцию осуществляют теми же приемами и средствами, что и при очистке природных вод. Наиболее часто применяют хлорирование газообразным хлором, а на станциях пропускной способностью до 1000 м³/сут используют и хлорную известь. При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается обеззараживание биологически очищенных вод гипохлоритом натрия, а также путем электролиза раствора NaCl.

Методы обработки осадка. При очистке сточных вод любым из описанных выше методов образуется осадок вследствие выпадения

дения нерастворенных веществ в первичных отстойниках. Кроме того, в результате биологической очистки образуется большое количество осадка, который выделяется во вторичных отстойниках.

Осадок состоит из твердых веществ, сильно разбавленных водой.

В сыром состоянии при очистке бытовых и некоторых производственных вод этот осадок имеет неприятный запах и является опасным в санитарном отношении, так как содержит огромное количество бактерий (в том числе могут быть и болезнетворные) и яиц гельминтов.

Для уменьшения количества органических веществ в осадке и придания ему лучших санитарных показателей, осадок подвергают воздействию анаэробных микроорганизмов (сбраживанию) и аэробной стабилизации или в соответствующих сооружениях.

К анаэробным сооружениям относятся септики, двухъярусные отстойники, метантенки. Первые два типа сооружений выполняют одновременно две задачи:

- 1) выделение из сточных вод нерастворенных веществ путем отстаивания;
- 2) сбраживание образующегося осадка.

Метантенки предназначаются преимущественно для сбраживания осадка; реже они применяются для предварительной анаэробной очистки высококонцентрированных сточных вод.

Для уменьшения влажности осадка сточных вод и его объема служат иловые пруды (для небольших станций) и иловые площадки.

Для обезвоживания осадка применяются различные механические приемы – вакуум-фильтрация, фильтр-прессование, центрифугирование. Создаются эффективные аппараты по термической сушке и сжиганию осадков. Важное значение приобретает утилизация осадков в качестве органико-минерального удобрения и белково-витаминных добавок к рационам питания сельскохозяйственных животных. В отдельных случаях при благоприятных местных условиях устраивают накопители осадка, выделяемого из производственных сточных вод.

При выборе метода очистки и обработки осадка сточных вод населенных пунктов и промышленных предприятий, а также места

расположения и типов очистных сооружений необходимо в первую очередь выявлять возможность и целесообразность промышленного использования очищенных сточных вод и осадка.

При определении необходимой степени очистки сточных вод, сбрасываемых в водоемы, следует руководствоваться «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

12.2. Схемы очистных станций

Сооружения для очистки сточных вод располагают таким образом, что вода проходит их последовательно, одно за другим. В сооружениях для механической очистки сначала выделяются наиболее тяжелые и наиболее крупные взвеси, а затем основные массы нерастворенных загрязнений; в последующих сооружениях для биологической очистки удаляются оставшиеся тонкие суспензии и коллоидальные и растворенные органические загрязнения, после чего производится обеззараживание сточных вод (дезинфекция).

Сооружения для обработки осадка располагаются также в определенной последовательности. При наличии метантенков сырой осадок из первичных отстойников сначала направляется в них для сбраживания, а затем поступает для обезвоживания на иловые площадки или на установку для механического обезвоживания. Обезвоженный осадок используется в качестве удобрения.

При применении двухъярусных отстойников осадок из них направляют непосредственно на иловые площадки для подсушивания.

Осадок из вторичных отстойников используется для активизации процесса биологической очистки сточных вод (циркулирующий активный ил), излишек же его (избыточный активный ил) сначала уплотняют, а потом направляют на утилизационную установку или в метантенки; нередко избыточный ил направляется в первичные отстойники.

На рисунке 12.1 показана схема механической очистки бытовых сточных вод со следующим расположением сооружений: решетки для задержания крупных веществ органического и ми-

нерального происхождения; песколовки для выделения тяжелых минеральных загрязнений (главным образом песка); отстойники для выделения осаждающихся веществ (главным образом органических); хлораторная установка с контактными резервуарами, в которых происходит контакт осветленной воды с хлором с целью уничтожения болезнетворных бактерий. После дезинфекции вода может быть спущена в водоем.

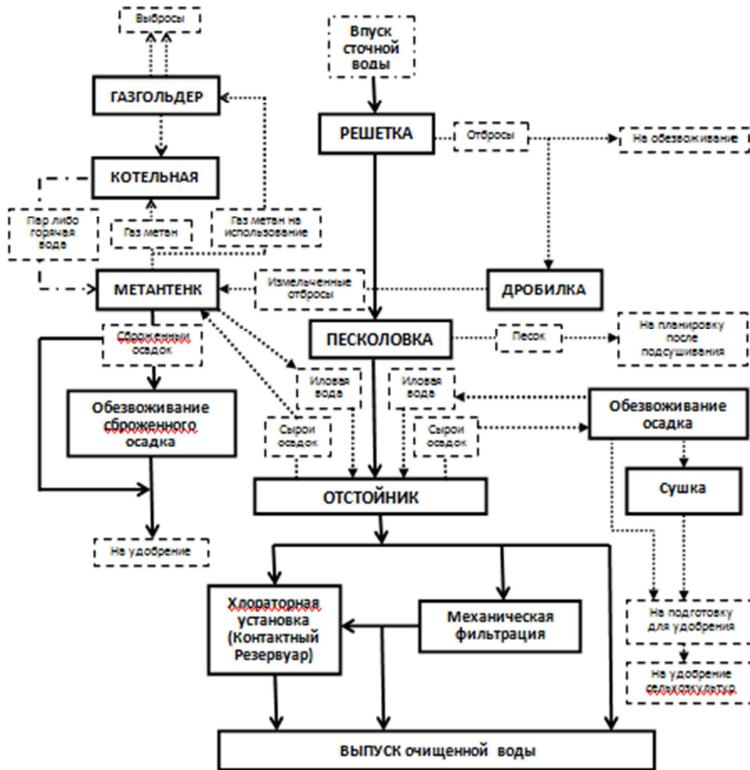


Рисунок 12.1 – Схема механической очистки сточных вод

Осадок из отстойников направляется непосредственно на иловые площадки для подсушивания или сначала в метантенки для сброживания; образующийся при этом газ используется для нужд очистной станции. Сброженный осадок из метантенков

направляется для обезвоживания на иловые площадки, или в иловые пруды (на небольших и средних станциях), или на вакуум-фильтры (на крупных станциях). Обезвоженный осадок складывается в штабеля, откуда вывозится на поля для удобрения, а дренажная вода присоединяется к общему потоку сточной воды и подвергается дезинфекции.

В зависимости от местных условий и объема очищаемых вод вместо отстойников и метантенков могут применяться двухъярусные отстойники, в которых операции осветления воды и сбраживания осадка совмещены в одном сооружении.

По схеме, приведенной на рисунке 12.2, сточная вода сначала проходит через сооружения механической очистки и предварительной аэрации (преаэраторы), далее она поступает на биофильтры, а затем во вторичные отстойники для выделения из очищенной воды веществ, выносимых из биофильтров. Очистка заканчивается дезинфекцией сточных вод перед спуском в водоем. Осадок обрабатывается по одному из ранее приведенных вариантов.

По схеме, показанной на рисунке 12.3, предварительная очистка сточной воды производится на решетках, в песколовках, преаэраторах и отстойниках. Последующая ее очистка производится в аэротенках с пневматической или механической аэрацией, затем во вторичных отстойниках и заканчивается дезинфекцией, после чего вода спускается в водоем. Осадок из первичных отстойников обрабатывается в метантенках и далее обезвоживается на иловых площадках или в вакуум-фильтрах.

Активный ил из вторичных отстойников перекачивается в аэротенки (циркуляционный активный ил), а остальная его часть (избыточный активный ил) передается в преаэраторы и илоуплотнители. После илоуплотнителей ил поступает на утилизационную установку или в метантенки, где обрабатывается вместе с осадком первичных отстойников. В качестве варианта на рисунке 12.3 показано удаление солей фосфора добавкой реагентов (РХ) и удаление солей азота в денитрификаторах (Д) и отстойниках-денитрификаторах (ОД).

Биологическая очистка сточных вод в зависимости от требований к спуску сточных вод в водоем может быть полная и неполная. Осадок может обрабатываться, как было указано ранее,

и в анаэробных, и в аэробных условиях (в минерализаторах) на станциях малой и средней пропускной способности. Выбор типа сооружений для биологической очистки сточных вод зависит от целого ряда факторов.

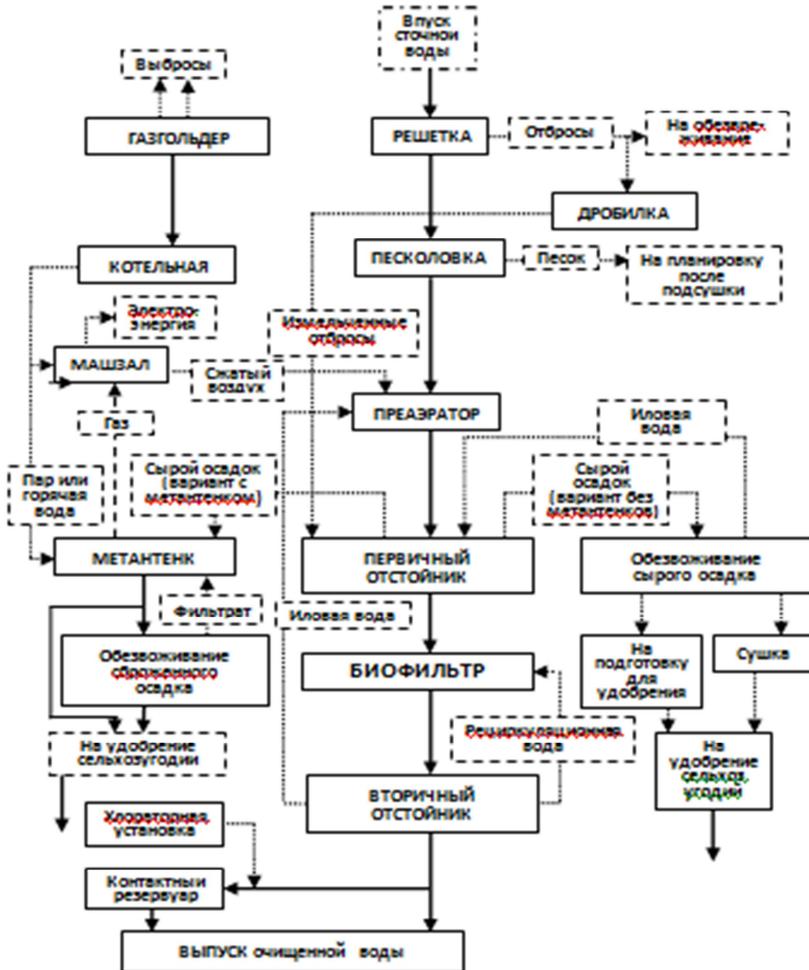


Рисунок 12.2 – Схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах

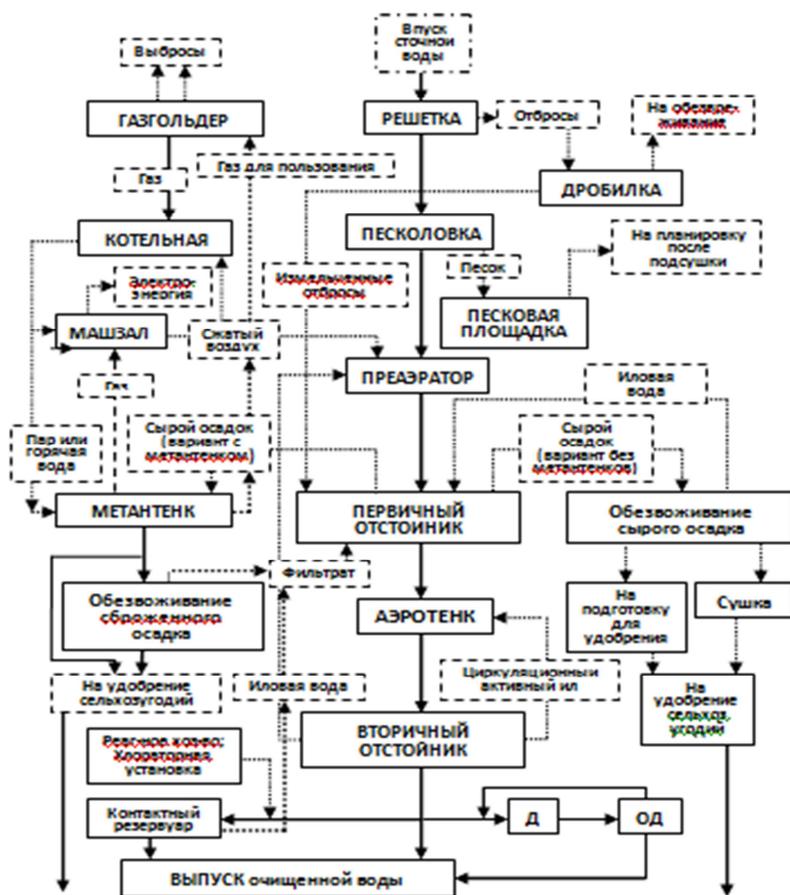


Рисунок 12.3 – Схема биологической очистки сточных вод в аэротенках

К основным из них относятся: требуемая степень очистки сточных вод, размер площади для очистных сооружений (наибольшая площадь требуется для устройства полей орошения, наименьшая – для аэротенков), характер грунтов, рельеф площадки и т. п. При выборе схемы очистных сооружений необходимо учитывать экономические показатели – строительную и эксплуатационную стоимость сооружений.

Под влиянием сброса производственных стоков изменяется состав сточных вод. С улучшением благоустройства городов водопотребление увеличивается, концентрация сточных вод по БПК₅ и взвешенным веществам снижается, одновременно уменьшается отношение БПК и ХПК, что указывает на ухудшение условий биологической очистки, на необходимость увеличения подачи воздуха и, безусловно, приводит к снижению качественных показателей очищенных сточных вод. Следовательно, в промышленности на стадии проектирования должны предусматриваться мероприятия, как по максимальному сокращению сбрасываемых сточных вод, так и по их локальной очистке.

Совместная очистка сточных вод должна рассматриваться как доочистка, обеспечивающая их безвредность для водоема. В связи с этим очень важно установить требования к объему и качеству производственных стоков, направляемых в городскую систему водоотведения. В этом случае контроль за сбросом производственных стоков в городскую систему водоотведения будет происходить на стадии согласования проектов очистных установок промышленных предприятий.

Приток сточных вод на очистную станцию колеблется как в течение суток, так и в течение года. Неравномерность притока сточных вод связана, как известно, с образом жизни жителей города, ходом производственных процессов на промышленных предприятиях, а также с иными факторами, оказывающими влияние на неравномерность расхода воды, в том числе и с временем года (в случае общесплавной системы водоотведения существенным образом на приток сточных вод влияет состояние погоды).

Количество загрязнений, поступающих со сточными водами на очистную станцию, также неравномерно, и в связи с этим во многих случаях требуется усреднение сточных вод.

Очистные сооружения рассчитываются по максимальному расходу сточных вод или же по какому-либо среднему их расходу. Иногда надо их проверять по минимальному расходу. В связи с этим целесообразно в самом начале разработки проекта определить следующие характеристические расходы сточных вод:

- средний суточный ($Q_{сут}$)_{ср}, м³/сутки;
- максимальный суточный ($Q_{сут}$)_{макс}, м³/сутки;

- средний часовой и секундный $(Q_{\text{час}})_{\text{ср}}$, м³/час, м³/с, л/с;
- максимальный часовой и секундный $(Q_{\text{час}})_{\text{макс}}$, м³/час, м³/с;
- минимальный часовой $(Q_{\text{час}})_{\text{мин}}$, м³/час, м³/с.

Приведенные выше расходы сточных вод определяются следующим образом: $(Q_{\text{сут}})_{\text{ср}}$ получается путем суммирования среднесуточных расходов бытовых и производственных сточных вод; среднесуточный расход бытовых сточных вод $(Q_{\text{сут}})_{\text{ср}}$ получается путем умножения удельного водоотведения q , выраженного в л/чел*сутки, на число жителей $N_{\text{расч}}$:

$$(Q_{\text{сут}})_{\text{ср}} = (q * N_{\text{расч}}) / 1000, \quad (12.1)$$

тогда

$$(Q_{\text{сут}})_{\text{макс}} = K_{\text{сут}} * (Q_{\text{сут}})_{\text{ср}}, \quad (12.2)$$

где $K_{\text{сут}}$ – коэффициент суточной неравномерности расхода сточных вод.

$$(Q_{\text{час}})_{\text{ср}} = (Q_{\text{сут}})_{\text{ср}} / 24, \quad (12.3)$$

$$(Q_{\text{час}})_{\text{макс}} = (Q_{\text{час}})_{\text{ср}} * K_{\text{час. макс}}, \quad (12.4)$$

$$(Q_{\text{час}})_{\text{мин}} = (Q_{\text{час}})_{\text{ср}} * K_{\text{час. мин}}, \quad (12.5)$$

где $K_{\text{час}}$ – коэффициент часовой неравномерности расхода сточных вод (максимальный либо минимальный); $K_{\text{сут}}$ – коэффициент общей суточной неравномерности расхода сточных вод.

Иллюстрацией степени неравномерности притока бытовых сточных вод на очистные сооружения может служить таблица 12.1, в которой представлена зависимость $P_{\text{мин}}$ и $P_{\text{ср}}$ от $K_{\text{час}}$.

Процентные соотношения характеристических расходов $P_{\text{мин}}$ и $P_{\text{ср}}$ определены согласно следующим уравнениям:

$$P_{\text{мин}} = ((Q_{\text{час}})_{\text{мин}} / (Q_{\text{сут}})_{\text{ср}}) * 100, \quad (12.6)$$

$$P_{\text{ср}} = ((Q_{\text{час}})_{\text{ср}} / (Q_{\text{сут}})_{\text{макс}}) * 100, \quad (12.7)$$

где $(Q_{\text{час}})_{\text{ср}}$ – определено как средний приток сточных вод в течение 12 дневных часов.

Влияние производственных сточных вод на общий сток может учитываться через эквивалентное население. Эквивалентным населением $N_{\text{экр}}$ называется такое число жителей, которое вносит такое же количество загрязнений, что и данный расход производственных сточных вод. Сумма расчетного $N_{\text{расч}}$ и эквивалентного $N_{\text{экр}}$ числа жителей называется приведенным населением $N_{\text{пр}}$.

Таблица 12.1 – Значения $P_{\text{мин}}$ и $P_{\text{ср}}$ в зависимости от $K_{\text{час}}$

$K_{\text{час}}$	$P_{\text{мин}}, \%$	$P_{\text{ср}}, \%$
1,2	2,25	4,95
1,25	2	5,15
1,3	1,9	5,3
1,35	1,85	5,35
1,4	1,65	5,6
1,5	1,6	5,7
1,6	1,55	5,8
1,7	1,25	5,95
1,8	1,25	6
1,9	1,1	6,05

В качестве примера в таблице 12.2 приведены числа $N_{\text{экв}}$, определенные по БПК₅ для различных производственных сточных вод, поступающих в городскую систему водоотведения.

Правильное определение притока сточных вод на очистную станцию, и связанных с этим расходов, является очень важным, поскольку составление проекта очистной станции на основании слишком малых или слишком больших величин может повлечь необоснованные затраты.

Таблица 12.2 – Число эквивалентных жителей $N_{\text{экв}}$, приведенное профессором Имгоффем на основании американских данных

Промышленное предприятие	Единица	$N_{\text{экв}}$
Молочный завод без сыроварни	1000 л молока	30÷80
Молочный завод с сыроварней	1000 л молока	100÷250
Свеклосахарный завод	1 т свеклы	120÷400
Пивоваренный завод	1000 л пива	300÷2000
Крахмалопаточный завод	1 т кукурузы или пшеницы	800÷1000
Кожевенный	1 т кожи	1000÷4000
Красильня (сернистые красители)	1 т товара	2000÷3500
Бумажная фабрика	1 т бумаги	100÷300

В первом случае очистная станция не будет обеспечивать надлежащую очистку сточных вод, что вызовет необходимость быстрого расширения объекта или же постройки новой очистной станции. Во втором случае потребуются излишние капиталовложения на постройку слишком больших сооружений.

Установление расходов сточных вод должно производиться путем анализа состояния города и дальнейшего его развития. Очистные станции проектируются на расчетный срок 20÷30 лет. Поэтому следует учитывать, что по мере развития города объем сточных вод будет возрастать не только вследствие увеличения числа жителей и строительства промышленных предприятий, но и в связи с ростом водопотребления, с повышением уровня благоустройства квартир.

13. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

13.1. Решетки

Решетки применяются для задержания из сточных вод крупных загрязнений и являются сооружениями, подготовляющими сточные воды к дальнейшей, более полной очистке. Прозоры между стержнями решеток должны быть по возможности меньшими, чтобы задерживать как можно больше грубых примесей для облегчения работы отстойников. По этим соображениям ширину прозоров b решеток перед очистными сооружениями принимают равной 16 мм. Скорость протока сточных вод между стержнями решетки не должна превышать 1 м/с.

Решетки должны устанавливаться на всех очистных станциях независимо от способа подачи на них сточных вод – самотеком или под напором после насосной станции, имеющей решетки с прозорами более 20 мм. Решетки подразделяются на неподвижные, подвижные и совмещенные с дробилками (решетки-дробилки). Более широкое применение имеют неподвижные решетки: вертикальные типа РММВ и наклонные типа МГ.

Неподвижная решетка представляет собой металлическую раму, внутри которой установлен ряд параллельных стержней, поставленных на пути движения сточных вод. Очистка решеток от задержанных ими отбросов производится механизировано. Снятые с решеток отбросы подаются в дробилку. Ручная очистка решетки допускается на небольших очистных станциях при объеме отбросов, задерживаемых решетками, менее $0,1 \text{ м}^3$ в сутки. Удаление отбросов для обезвреживания в этом случае должно производиться в закрытых контейнерах. Транспортирование отбросов от решеток к дробилкам должно быть механизировано.

Наиболее часто применяемые формы сечений стержней решеток представлены в виде круглой формы стержней, что имеет преимущество в гидравлическом отношении, но в эксплуатационном отношении она неудовлетворительна, так как способствует засорению решетки. Поэтому наиболее употребительны стержни

прямоугольного сечения (размером 10×60 мм), хотя эта форма сечения создает наибольшее сопротивление при входе воды в решетку, которое можно уменьшить, закруглив углы стержней.

Решетки устанавливают в пазах, сделанных в боковых стенках, чтобы можно было снимать решетки и при необходимости заменять другими. Так как решетка стесняет живое сечение потока, то канал или камера, в которых устанавливается решетка, должны быть несколько шире основного лотка или канала. Для предупреждения образования вихревого потока канал перед решеткой плавно уширяют путем изменения направления стенок на угол $\varphi = 20^\circ$. Если ширина подводящего канала B_k и общая ширина решетки B_p , то длина уширения перед решеткой ℓ_1 должна быть:

$$\ell_1 = (B_p - B_k) / (2 \operatorname{tg} \varphi). \quad (13.1)$$

Длина уширения после решетки принимается $\ell_2 = 0,5 * \ell_1$.

Размеры решетки определяют по расходу сточных вод, по принятой ширине прозоров между стержнями решетки и ширине собственно стержней, а также по средней скорости прохождения воды через решетку.

Во избежание продавливания отбросов через решетку скорость протока сточной воды через нее следует назначать в пределах 0,7 м/с при среднем притоке и не более 1 м/с при максимальном притоке сточной воды.

Скорость в уширенной части канала перед решеткой не должна быть меньше 0,6 м/с при минимальном притоке сточных вод во избежание выпадения осадка перед решеткой.

Площадь прозоров рабочей части решетки определяют расчетом, но она должна быть не меньше удвоенной площади живого сечения подводящего канала при ручной очистке и не менее 1,2 живого сечения при механической очистке.

Эффект работы решеток во многом зависит от правильности их расчета, заключающегося в определении размера решеток и потерь напора в них. Определение точного значения подпора, вызываемого решеткой, затруднительно, так как значение это зависит не только от степени стеснения живого сечения, от соотношения между толщиной стержней и шириной прозоров, от формы стержней и угла наклона решетки, но и от характерных особенностей грубых примесей к сточным водам.

Потери напора h_p в решетке (подпор, создаваемый решеткой) могут быть определены по формуле:

$$h_p = (\xi * v^2 * p) / 2g, \quad (13.2)$$

где v – средняя скорость движения воды в канале перед решеткой, м/с; p – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решетки; рекомендуется определять по формуле $p = 3,36v_p - 1,32$ (v_p – скорость в прозорах решетки) или принимать ориентировочно равным 3; ξ – коэффициент местного сопротивления решетки, зависящий от формы стержней:

$$\xi = \beta * (s / b)^{4/3} * \sin \alpha, \quad (13.3)$$

где β – коэффициент, принимаемый по данным таблицы 13.1; s – толщина стержня, м; b – ширина прозоров между стержнями решетки, м; α – угол наклона решетки к горизонту.

Во избежание образования подпора перед решеткой и заиливания подводящего канала рекомендуется его дно за решеткой понижать на высоту, равную потере напора при прохождении воды через решетку. Число прозоров решетки n может быть найдено из соотношения:

$$q = \omega * v_p = b * n * h_1 * v_p \quad \text{или} \quad n = q / (b * h_1 * v_p), \quad (13.4)$$

где q – максимальный расход сточных вод, м³/с; ω – площадь живого сечения (площадь прозоров) решетки, м²; v_p – средняя скорость воды в решетке, м/с; h_1 – глубина воды перед решеткой, м.

Таблица 13.1 – Значение коэффициента β

Форма сечения стержня	Прямоугольная	Прямоугольная, с закругленной одной из коротких сторон	Круглая
β	2,42	1,83	1,79

Однако эти формулы не учитывают стеснение потока граблями (при механизированной очистке) и задержанными загрязнениями. Это стеснение можно учесть коэффициентом $K_3 = 1,05$. Тогда:

$$n = (q / (b * h_1 * v_p)) * K_3. \quad (13.5)$$

При известном числе прозоров n общая ширина решетки равна B_p :

$$B_p = s * (n - 1) + b * n . \quad (13.6)$$

Объем отбросов, задерживаемых на решетках, зависит от вида сточных вод и ширины прозоров решетки. Для бытовых сточных вод при механизированной очистке решеток, объем задерживаемых на решетках отбросов в год на одного жителя, обслуживаемого системой водоотведения, при ширине прозоров $16 \div 20$ мм, принимают 6 л.

Данные эксплуатации решеток показывают, что объем задерживаемых ими отбросов колеблется в широких пределах. Так, на московских станциях аэрации решетками с прозорами 16 мм задерживается в среднем $16,4$ л с 1000 м^3 сточных вод; на станциях с меньшей пропускной способностью (до 50 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$) такими решетками задерживается $30 \div 50$ л отбросов. Влажность удаляемых с решетки отбросов составляет 80 %, зольность – $7 \div 8$ %; их плотность равна $750 \text{ кг}/\text{м}^3$. При объеме отбросов $0,1 \text{ м}^3$ в сутки и более последние (за исключением камня, стекла, металла и т. п.) подвергаются измельчению в дробилках. В измельченной массе частицы крупностью до 1 мм составляют 54 %, а частицы крупностью от 1 до 8 мм – 46 %. Для транспортирования размельченных отбросов в дробилки подается техническая вода.

Расход воды, подаваемой к дробилке, следует определять из расчета 40 м^3 на 1 тонну отбросов. Механизированная очистка решеток производится движущимися граблями, приводимыми в движение от электродвигателя. Грабли движутся с верхней или нижней стороны решетки (по движению воды). Расход электроэнергии на работу механических граблей, транспортеров и дробилок составляет около $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ на 1000 м^3 сточных вод. Измельченную массу вместе с осадком из первичных отстойников направляют на дальнейшую обработку непосредственно в метантенки; допускается отводить ее в канал до решеток.

При отсутствии дробилки отбросы с решеток обезвреживаются:

- 1) обсыпкой землей или торфом в местах, отведенных для этой цели по согласованию с органами Государственного санитарного надзора;

2) переработкой с домовыми отбросами в биотермических камерах;

3) обезвоживанием на ручном или механическом прессе с последующим сжиганием с примесью дешевого топлива.

В теплое время года отбросы с решеток посыпаются хлорной известью во избежание привлечения мух. Вывоз отбросов производится не реже чем через 3÷4 суток. Основные данные по типовым решеткам с механизированными граблями приведены в таблице 13.2.

Таблица 13.2 – Механизированные решетки

Пропускная способность, м ³ /сутки	Марка	Размер решетки, мм	Число решеток рабочих (резервных)
1 400÷17 000	РММВ-1000	-	1(1)
25 000÷35 000	РММВ-1000	-	2(1)
50 000	МГ-11Г	1000×1600	2(1)
70 000	МГ-11Г	1000×1600	2(1)
100 000	МГ-8Г	1400×2000	2(1)
140 000	МГ-8Г	1400×2000	2(1)
200 000	МГ-8Г	1400×2000	3(1)
280 000	МГ-6Г	2000×2000	3(1)

Помимо решеток и дробилок в здании устанавливают насос для подачи рабочей воды к дробилкам и гидроэлеваторам. Для удаления песка из песколовок в случае необходимости повышения напора устанавливают песковой насос.

Перед входом в здание решеток подводящий канал разветвляется на потоки по числу установленных решеток. На разветвлениях вначале устанавливаются щитовые затворы типа шандора, а затем затворы с электродвигателями. С помощью этих затворов, а также затворов, установленных за решетками, можно выключить из работы тот или иной канал. Из решеток отбросы ленточным транспортером передаются в дробилку, по пути из них удаляются не подлежащие дроблению предметы, которые периодически вывозятся за пределы очистных сооружений.

Прочие отбросы перемещаются к питателю дробилки и после измельчения направляются в канал перед решетками по трубо-

проводу $d = 200$ мм. В состав установки входят дробилка Д-3 с электродвигателем и ленточные конвейеры (горизонтальный и наклонный). Дробилки Д-3 имеют пропускную способность $0,3 \div 1$ т/ч. Пуск и остановка дробилки производится вручную периодически, по мере накопления отбросов. Продолжительность работы дробилок около 12 ч в сутки. Вода для транспортирования отбросов подается из технического водопровода. Электромагнитный вентиль на водопроводной линии синхронно связан с работой электродвигателя дробилки.

Для монтажа и ремонта решеток, дробилок и насосного оборудования предусмотрены подъемно-транспортные устройства. Проходы между установленным оборудованием приняты не менее 1,2 м, а перед фронтом решеток – не менее 1,5 м.

Опыт эксплуатации решеток показывает, что при транспортировании отбросов непосредственно в метантенки возникают трудности. Поэтому рекомендуется сбрасывать дробленые отбросы в канал перед решетками или вывозить отбросы в контейнерах для совместной обработки с мусором на мусороперерабатывающих заводах.

13.2. Песколовки

Песколовки предназначаются для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей (главным образом песка) и устанавливаются перед отстойниками. Применение песколовок обусловлено тем, что при совместном выделении в отстойниках минеральных и органических примесей возникают значительные затруднения при удалении осадка из отстойников и дальнейшем его сбраживании в метантенках.

Песколовки следует предусматривать при расходе сточных вод более $100 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Работа песколовок основана на использовании гравитационных сил. Рассчитываются песколовки таким образом, чтобы в них выпадали песок и другие тяжелые минеральные частицы, но не выпадал осадок органического происхождения.

По характеру движения воды песколовки подразделяются на:

- горизонтальные – с круговым или прямолинейным движением воды;

- вертикальные – с движением воды снизу вверх;
- песколовки с винтовым (поступательно-вращательным) движением воды (последние в зависимости от способа создания винтового движения подразделяются на тангенциальные и аэрируемые).

Осевший на дно песколовки с прямолинейным движением воды песок сдвигается к приямку, расположенному в начале сооружения, скребками, при этом происходит частичная отмывка песка. Из приямка песок удаляют гидроэлеватором или песковыми насосами.

Песколовки сооружают из сборных железобетонных элементов унифицированных размеров.

Действие горизонтальной песколовки основано на том, что при движении сточной воды (в резервуаре, канале, отстойнике) каждая находящаяся в ней нерастворенная частица перемещается вместе со струей воды и одновременно движется вниз под действием силы тяжести со скоростью, соответствующей крупности и плотности частицы.

Обычно в песколовках задерживается песок с гидравлической крупностью u_0 , равной $18 \div 24$ мм/с (песок крупностью $0,2 \div 0,25$ мм), составляющий около 65 % всего количества песка, содержащегося в сточных водах.

Чем больше скорость течения воды, тем сильнее турбулентность потока и больше вертикальная составляющая (пульсационной) скорости движения воды и тем более крупные частицы будут выноситься вместе с водой; чем медленнее течение, тем более мелкие и легкие частицы будут выпадать в осадок.

Скорость движения воды в песколовках не должна выходить из определенных пределов. Для бытовых вод такими пределами скорости считаются для песколовки с горизонтальным движением 0,3 м/с (при максимальном притоке) и 0,15 м/с (при минимальном притоке). При этих скоростях продолжительность пребывания сточной воды в горизонтальных песколовках принимается равной $30 \div 60$ секунд (при максимальном притоке сточных вод).

Ввиду того что расход сточных вод в течение суток колеблется, для соблюдения этих скоростей течения необходимо устраивать песколовку из нескольких отделений (не менее двух)

с таким расчетом, чтобы в часы минимального расхода часть отделений выключалась из работы. Но даже и при соблюдении указанных выше скоростей осадок в песколовках, как показывает практика, все же содержит более или менее значительное количество легких органических примесей. Происходит это по следующим причинам. При скоростях, близких к нижнему пределу (0,15 м/с для горизонтальных песколовок), выпадает много органических примесей. Во избежание этого следует придерживаться по возможности высшего предела скорости (0,3 м/с), применяя для этого устройства, поддерживающие одинаковую скорость течения в песколовке автоматически независимо от расхода сточных вод. Иными словами, при уменьшении расхода против расчетного (соответствующего расчетной скорости) в таком же соотношении должна уменьшаться и площадь живого сечения. Кроме того, предельная скорость течения 0,3 м/с является средней скоростью, отнесенной ко всему живому сечению.

В действительности же, в некоторых зонах песколовки наблюдаются повышенные скорости, способствующие выносу песка; в других зонах вода протекает с пониженной против средней скоростью, при которой выпадают вместе с песком органические вещества. Поэтому необходимо принимать меры (главным образом в отношении улучшения конструкций впускных и выпускных устройств), обеспечивающие равномерность течения.

Имеет значение и то, что в бытовых водах органические вещества слипаются с частицами песка и другими тяжелыми частицами и вместе с ними выпадают в осадок. Поэтому необходимо предусмотреть условия, способствующие отделению или отмывке песка от приставших к нему органических частиц.

Вертикальные песколовки в настоящее время применяют редко. Тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане; подвод воды к ним производится тангенциально (по касательной). В таких песколовках каждая частица испытывает кроме сил тяжести влияние центробежных сил. Это способствует более интенсивному отделению песка от воды и легких органических примесей, которые вследствие вращательного движения поддерживаются во взвешенном состоянии и не выпадают в осадок. Тангенциальные песколовки обеспечивают более полное задержание песка с малым количеством органических загрязнений.

Аэрируемые песколовки являются развитием тангенциальных песколовок и выполняются в виде удлиненных резервуаров. Вращательное движение в них создается путем аэрации сточной воды.

Объем осадка, выпадающего в песколовке, зависит от многих факторов: от системы водоотведения, протяженности сети, ее уклонов, условий эксплуатации системы водоотведения, состава производственных вод, поступающих в системы водоотведения, и пр.

По существующим нормативам для городской системы водоотведения объем осадка, выпадающего в горизонтальных и тангенциальных песколовках, принимается равным 0,02 л при полной раздельной и 0,04 л при общесплавной системе водоотведения на одного человека в сутки при влажности осадка в среднем 60 % и плотности его 1,5 т/м³. Для уменьшения влажности осадка, а следовательно, и общего его объема горизонтальные песколовки устраивают иногда с дренажем.

При очистке песколовка выключается из работы шиберами; вода, насыщающая песок, спускается в колодец, а песок удаляется. При этом влажность осадка снижается до 30 %. Однако опыт эксплуатации песколовок показывает, что дренажные трубы часто засоряются осадком. Песколовки с дренажем применяют при расходе сточных вод не более 2000 м³/сутки. Зольность осадка из песколовок колеблется от 85 до 95 %.

Механизованное удаление песка из горизонтальных песколовок обязательно при объеме его более 0,1 м³ в сутки. При механизованном удалении осадка одна песколовка (или одно отделение), независимо от числа рабочих песколовок, должна быть резервной. Осадок удаляют (в зависимости от конструкции и размеров песколовки) порциями, ковшами, гидроэлеваторами, песковыми насосами и применяют гидромеханическую систему выгрузки песка из песколовок. Объем песка, задержанного в песколовках, замеряется при выгрузке.

Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды представляют собой удлиненные прямоугольные в плане резервуары. На входе воды в песколовку установлены плоские распределительные решетки. Многолетняя эксплуатация этих

решеток показывает, что они повышают эффект задержания песка или увеличивают пропускную способность без уменьшения эффекта задержания песка. Распределительные решетки можно рекомендовать для установки в горизонтальных песколовках. Горизонтальные песколовки рассчитывают исходя из необходимой степени задержания песка определенной крупности.

Длина проточной части песколовки, L (м), определяется по формуле:

$$L = 1000 * K * v * H / u_0, \quad (13.7)$$

где v – скорость: при максимальном притоке сточных вод равна 0,3 м/с, при минимальном притоке – 0,15 м/с; H – глубина проточной части песколовки, м; u_0 – гидравлическая крупность частиц песка, мм/с (таблица 13.3); K – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние характера движения воды на скорость осаждения песка в песколовках; $K = 1,7$ при $u_0 = 18$ мм/с и $K = 1,3$ при $u_0 = 24$ мм/с.

Таблица 13.3 – Зависимость между гидравлической крупностью и диаметром частиц песка

Диаметр частиц песка, мм	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Гидравлическая крупность при 10÷15 °С, мм/с	5,12	7,37	11,5	18,7	24,2	28,3	34,5	40,7	51,6

Продолжительность протекания сточных вод через песколовку при максимальном притоке принимают не менее 30 с. Минимальный размер задерживаемых частиц песка определяется в зависимости от типа очистных сооружений, устраиваемых за песколовкой. Если на очистной станции имеются отстойники, осадок из которых сбрасывается в метантенках или в двухъярусных отстойниках, то в песколовках должен быть задержан песок диаметром 0,25 или 0,2 мм, при необходимости расчет может производиться на задержание песка крупностью менее 0,2 мм. Определяемая по формуле (13.7) длина песколовки является рабочей. Для создания равномерных скоростей в песколовке вход в нее выполняют в виде плавного расширения, а выход из нее – в виде плавного сужения.

Необходимую площадь зеркала воды песколовки F определяют по формуле:

$$F = q_{\max} / u_0, \quad (13.8)$$

где q_{\max} – максимальный приток сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$.

Общая ширина песколовки при максимальном притоке:

$$B = F / L. \quad (13.9)$$

Определив величины F и B , устанавливают число рабочих отделений n , задаваясь рабочей глубиной h_1 и шириной каждого отделения b . Глубину h_1 принимают несколько большей, чем глубина потока в подводящем канале, но не более 1 м. Ширину b принимают в зависимости от общего размера песколовки от 0,6 до 6 м. Глубина слоя осадка в песколовке h_2 зависит от объема выпадающего песка и от времени между очистками. Общий объем осадочной (грязевой) части песколовок

$$W_{\text{ос}} = (N * p * t) / 1000, \quad (13.10)$$

где N – число жителей, обслуживаемых системой водоотведения; p – объем выпадающего осадка, л/сутки на одного человека; t – число суток между двумя чистками; во избежание загнивания органической части осадка величина t должно быть не более 2 суток.

Для стабилизации скорости потока в песколовке при измерении расхода поступающих в нее сточных вод на отводном канале, в песколовках устраиваются водосливы. Размеры их можно определить по следующим формулам (по В.И. Калицуну):

$$p = (H_{\max} - K^{2/3} * H_{\min}) / (K^{2/3} - 1), \quad (13.11)$$

$$b_2 = (q_{\max}) / m * \sqrt{2g * (p + H_{\max})^{3/2}}, \quad (13.12)$$

где p – перепад между дном песколовки и порогом водослива; H_{\max} и H_{\min} – наполнение песколовки соответственно при максимальном и минимальном расходе и скорости $v = 0,3$ м/с;

$$K = q_{\max} / q_{\min};$$

q_{\max} и q_{\min} – соответственно максимальный и минимальный расход воды в песколовке; b_2 – ширина водослива; m – коэффициент расхода, принимаемый для водослива, равным $0,35 \div 0,38$ и зависящий от условий бокового сжатия.

Для нормальной работы песколовков большое значение имеет своевременное удаление отложившегося в них песка. На небольших установках песок можно удалять вручную; при объеме песка более 0,1 м³ в сутки обязательно механизированное его удаление.

Ниже приводятся несколько примеров конструкций горизонтальных песколовков с механизированным удалением осадка (таблица 13.4).

Весь расход сточных вод проходит через секции песколовки с постоянной скоростью 0,3 м/с. На впускном и выпускном каналах имеются электрифицированные шлюзовые затворы, действующие автоматически в зависимости от скорости прохождения воды.

При очистке секции сначала должна быть выпущена из нее вода и направлена в подводящий канал, после чего удаляют песок. Песколовки устроены с уклоном, что облегчает освобождение их от песка. Приспособления для очистки запроектированы таким образом, что в случае необходимости может быть применена промывка песка, для чего предусмотрено промывочное устройство.

Таблица 13.4 – Горизонтальные песколовки с плоским днищем и прямолинейным движением воды

Пропускная способность, тыс. м ³ /сутки	Число отделений	Размеры, м		
		длина	ширина отделения	наполнение (глубина проточной части)
25	2	9	1,25	0,55
50	2	15	2,80	0,55
70	2	18	3,00	0,58
100	3	18	3,00	0,55
140	2	18	4,50	0,67
200	3	18	4,50	0,65
280	4	18	4,50	0,67

К горизонтальным могут быть отнесены песколовки с круговым движением воды. Они могут быть оборудованы гидроэлеваторами для удаления песка.

Гидроэлеваторы хорошо отмывают песок от органических примесей. Работают они автоматически по графику с помощью командного электропневматического прибора (например, типа КЭП-12У). Длительность периода работы гидроэлеваторов устанавливается в процессе эксплуатации песколовок.

В случае неполадок в работе насосов и задвижек на диспетчерский пункт передаются соответствующие сигналы. Песколовки с круговым движением воды экономичны и надежны в работе. Нагрузка на поверхность песколовок составляет $28 \div 78 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Наиболее целесообразно применение этих песколовок с бункером для песка. По опыту эксплуатации песколовок с круговым движением воды в них задерживается зимой 21 л и летом 82 л (в среднем 45 л) осадка на 1000 м^3 сточных вод. Зольность осадка $81 \div 93 \%$; содержание песка в осадке $76 \div 86 \%$. Песколовки работают при часовом коэффициенте неравномерности около 1,5. Оптимальная эксплуатационная нагрузка на поверхность $47,7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Удаление осадка из песколовок производится каждую смену. Применение бункера позволяет полностью механизировать удаление песка, что значительно облегчает эксплуатацию песколовок.

В таблице 13.5 приведены данные по типовым песколовкам с круговым движением воды, где А – диаметр песколовки; Б – расстояние между центрами песколовок; В – расстояние между осями подводящего лотка и камеры переключения; Г – расстояние между осью песколовок (сечение I-I) и осью камеры переключения; Д – ширина кольцевого желоба песколовки; Е – ширина отводящего лотка; Ж – ширина лотков для впуска и выпуска воды в песколовку.

Тангенциальные песколовки получили широкое распространение в зарубежной практике. Расчет производится на задержание песка с гидравлической крупностью $18 \div 24 \text{ мм/с}$ (песок крупностью $0,2 \div 0,25 \text{ мм}$). Сточная вода поступает в песколовку по касательной.

Особенностью песколовки является малая глубина ее проточной части. Нагрузку на песколовку принимают равной $110 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, при максимальном притоке. Диаметр песколовки принимается не более 6 м.

Таблица 13.5 – Основные показатели песколовок с круговым движением воды

Пропускная способность		Основные размеры, мм						
м ³ /сут	л/с	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
1400÷2 700	31÷56	4000	6000	2000	4700	500	300	200
2700÷4 200	56÷83						300	250
4200÷7 000	83÷133		6500		4350	800	450	300
7000÷10000	133÷183						600	350
10000÷17000	183÷278	6000	10000	2500	5000	1000	600	600
17000÷25000	278÷394					1400	900	900
25000÷40000	394÷590		11000		4850	1500	900	900
40000÷64000	590÷920					1800	1200	900

Удаление задержанного песка производится с помощью шнека. При скоростях течения в главном лотке 0,6÷0,8 м/с задерживается около 90 % песка (главным образом крупностью более 0,4 мм). Влажность задерживаемого песка при колебаниях нагрузки от 70 до 140 м³/(м²*ч) составляет 19÷20 %, зольность – 94 %, количество песка – от 14,5 до 40 % крупностью менее 0,2 мм.

Аэрируемые песколовки выполняются в виде горизонтальных резервуаров. Вдоль одной из стенок на расстоянии 45÷60 см от дна по всей длине песколовки устанавливают аэраторы, а под ними устраивают лоток для сбора песка. В поперечном сечении днищу придают уклон $i = 0,2 \div 0,4$ к песковому лотку для сползания в него песка.

Расчет аэрируемых песколовок производится из условия обеспечения вращательной скорости по периметру поперечного сечения песколовки $v_{вр} = 0,25 \div 0,3$ м/с, поступательной скорости $v_{пост} = 0,08 \div 0,12$ м/с и продолжительности пребывания воды в песколовке 2÷3 мин, которая рассчитывается на задержание песка с гидравлической крупностью $u_0 = 18$ мм/с (песок крупностью 0,2 мм).

Сточная вода под действием аэрации движется по спирали, и частицы песка выпадают в придонной области в сторону аэраторов. Для поддержания величины $v_{вр}$ необходимо подавать воздух в объеме 3÷5 м³ на 1 м² площади поверхности песколовки

в 1 ч. Вращательная скорость поддерживается постоянной вне зависимости от колебания притока сточных вод.

Уменьшение поступательных скоростей течения при одном и том же времени пребывания жидкости в сооружении позволяет уменьшить длину песколовков и упрощает выгрузку осадка.

Постоянные скорости движения в аэрируемых песколовках обеспечивают непрерывное поддержание во взвешенном состоянии органических загрязнений и исключают выпадение последних в осадок. Кроме того, при аэрации и трении песчинок друг о друга песок отмывается от обволакивающих его органических загрязнений. Все это способствует получению в песколовках практически свободного от органических примесей осадка. Осадок из аэрируемых песколовков содержит до 90÷95 % песка и при длительном хранении не загнивает. Процесс отмывки песка улучшает и его осаждение.

Аэраторы песколовков могут выполняться из пластмассовых труб с отверстиями диаметром $d = 3,1 \div 5$ мм и устанавливаются на глубине $(0,7 \div 0,75) \cdot H$. Для удобства осмотра, очистки и ремонта аэраторы должны легко подниматься на поверхность. Для приема осадка в верхней части пескового лотка имеется щель, которая закрывается клапанами при смыве осадка за счет повышения давления в лотке. Смывной трубопровод диаметром 159 мм укладывают посередине днища пескового лотка. С двух сторон нижней половины трубы через 0,4 м друг от друга приварены spryski диаметром 10 мм, направленные в сторону выгрузки осадка. Осадок удаляют без выключения песколовки из работы. Основными расчетными гидравлическими параметрами являются расход и напор воды, подаваемой на смыв осадка в лотке.

Расход промывных вод, подаваемых насосом в гидромеханическую систему, определяется по формуле:

$$Q_n = v \cdot F = v \cdot \ell \cdot b, \quad (13.13)$$

где v – восходящая скорость промывной воды в лотке, принимаемая равной 0,65 см/с, при эквивалентном диаметре частиц песка 0,05 см; F – площадь пескового лотка в плане; ℓ – длина пескового лотка, определяемая как разность длины песколовки и диаметра бункера; например, для аэрируемой песколовки, разработан-

ной «ЦНИИЭП инженерного оборудования», она будет равна 13,7 м; b – ширина пескового лотка, обычно равная 0,5 м.

Оптимальный расход промывной воды $0,03 \div 0,09 \text{ м}^3/\text{с}$.

Обязательным условием для нормальной работы гидромеханической системы является равномерность распределения промывной воды по длине смывного трубопровода. Определение напора в начале смывного трубопровода, при котором обеспечивается достаточная равномерность распределения промывной воды по длине лотка, может производиться по формуле:

$$H_0 = 5,6 * h_0 + (5,4 * v_{\text{тр}}^2) / (2g), \quad (13.14)$$

где h_0 – максимальная высота слоя осадка в лотке (может быть равна глубине лотка 0,5 м); $v_{\text{тр}}$ – скорость в начале смывного трубопровода, зависящая от расхода промывной воды и диаметра смывного трубопровода; $v_{\text{тр}} \approx 3 \text{ м/с}$.

Напор, создаваемый насосом, определяется по формуле:

$$H_n = H_0 + \Delta h, \quad (13.15)$$

где Δh – потери напора во всасывающем трубопроводе и напорных коммуникациях от насоса до смывного трубопровода.

Задержанный песок гидроэлеваторами подается на отмывку в гидроциклоны, устанавливаемые над открыто расположенными песковыми бункерами. Отделенная от песка вода из гидроциклона сбрасывается перед песколовками. Обработка осадка в гидроциклоне обеспечивает получение песка, практически свободного от органических примесей.

Основные параметры песколовков приведены в таблице 13.6.

Поскольку песок из песколовков транспортируется по трубопроводам с большим объемом воды, необходимо его обезвоживать. Для этого устраивают бункеры, песковые площадки или накопители песка, обычно располагаемые вблизи песколовков, и применяют гидроциклоны, в которых при промывке песка происходит и его обезвоживание.

На станциях пропускной способностью до 75 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$ для обезвоживания песка рекомендуется использовать песковые бункера, приспособленные для погрузки песка в автотранспорт. Бункеры рассчитывают на $1,5 \div 9$ -суточное хранение песка; их располагают как вне здания, так и в здании, в зависимости от климатических условий.

Таблица 13.6 – Аэрируемые песколовки

Пропускная способность, тыс. м ³ /сут.	Число отделений	Размеры, м			Отношение b/h	Расход воздуха на аэрацию, м ³ /ч, при интенсивности аэрации 3 м ³ /(м ² *ч)
		ширина отделения b	глубина h	длина L		
70	2	3	2,1	12	1,34	200
100	3	3	2,1	12	1,34	300
140	2	4,5	2,8	18	1,5	460
200	3	4,5	2,8	18	1,5	690
280	4	4,5	2,8	18	1,5	920

Для промывки песка применяют напорные гидроциклоны диаметром 300 мм с напором пульпы перед гидроциклонами 20 м. Во избежание смерзания песка при расположении бункеров вне здания предусматривается обогрев бункеров горячей водой.

Песковые площадки устраивают с ограждающими валиками высотой 1÷2 м. Размеры площадок принимают из условия нагрузки на них до 3 м³/м² в год (с периодической выгрузкой подсушенного песка. Высота слоя напуска песка в накопителе составляет до 3 м/год).

Воду с площадок и из накопителей удаляют через камеры с водосливами с переменной отметкой порога и перекачивают в канал перед песколовками или направляют в резервуар местной насосной станции с последующей перекачкой на очистные сооружения.

Для обезвоживания песка могут применяться также напорные гидроциклоны и обезвоживающие горизонтальные шнековые центрифуги типа НОГШ.

Улучшение качества песка достигается применением пластификаторов.

13.3. Отстойники. Классификация отстойников

Отстаивание является наиболее простым и часто применяемым в практике способом выделения из сточных вод грубодис-

персных примесей, которые под действием гравитационной силы оседают на дно отстойника или всплывают на его поверхность. В зависимости от требуемой степени очистки сточных вод отстаивание применяется или в целях предварительной их обработки перед очисткой на других, более сложных сооружениях, или как способ окончательной очистки, если по местным условиям требуется выделить из сточных вод только нерастворенные (осаждающиеся или всплывающие) примеси.

В зависимости от назначения отстойников в технологической схеме очистной станции они подразделяются на первичные и вторичные.

Первичными называются отстойники перед сооружениями для биологической очистки сточных вод.

Вторичными называются отстойники, устраиваемые для осветления сточных вод, прошедших биологическую очистку.

По режиму работы различают отстойники периодического действия, или контактные, в которые сточная вода поступает периодически, причем отстаивание ее происходит в покое, и отстойники непрерывного действия, или проточные, в которых отстаивание происходит при медленном движении жидкости.

В практике очистки сточных вод осаждение взвешенных веществ производится чаще всего в проточных отстойниках. Контактные отстойники применяют для обработки небольших объемов сточных вод. По направлению движения основного потока воды в отстойниках они делятся на два основных типа: горизонтальные и вертикальные; разновидностью горизонтальных являются радиальные отстойники.

В горизонтальных отстойниках сточная вода движется горизонтально, в вертикальных – снизу вверх, а в радиальных – от центра к периферии.

К числу отстойников относят и так называемые осветлители. Одновременно с отстаиванием в этих сооружениях происходит фильтрация сточных вод через слой взвешенных веществ.

Содержание нерастворенных примесей (взвешенных веществ), выделяемых первичными отстойниками, зависит от начального содержания и от характеристики этих примесей (формы и размера их частиц, плотности, скорости их осаждения),

а также от продолжительности отстаивания. Основная масса грубодисперсных взвешенных веществ выпадает в осадок в течение 1,5 ч. Скорость осаждения и полнота выделения из воды тонкодисперсных частиц зависят от их способности к агломерации.

Допустимое остаточное содержание взвешенных веществ – вынос из первичных отстойников – устанавливается в зависимости от типа биологических окислителей для последующей очистки сточных вод. В соответствии с этим принимается продолжительность отстаивания. Из отстойников перед биофильтрами и аэротенками на полную очистку не должно выноситься взвешенных веществ более 150 мг/л. Продолжительность отстаивания городских сточных вод в этом случае должна быть 1,5 ч.

Выбор типа, конструкции и числа отстойников должен производиться на основе технико-экономического их сравнения с учетом местных условий.

Вертикальные отстойники применяют обычно при низком уровне грунтовых вод и пропускной способности очистных сооружений до 10 000 м³/сутки. Горизонтальные и радиальные отстойники применяют независимо от уровня грунтовых вод при пропускной способности очистных сооружений свыше 15 000÷20 000 м³/сутки.

Радиальные отстойники с вращающимся распределительным устройством применяют на станциях пропускной способностью более 20 000 м³/сутки при исходной концентрации взвешенных веществ не более 500 мг/л.

Основными условиями эффективной работы отстойников являются:

- установление оптимальной гидравлической нагрузки на одно сооружение или секцию (для данных начальной и конечной концентраций сточной воды и природы взвешенных веществ);
- равномерное распределение сточной воды между отдельными сооружениями (секциями);
- своевременное удаление осадка и всплывающих веществ.

Процесс отстаивания сточной воды. Основным уравнением скорости осаждения (гидравлической крупности) взвешенных частиц в воде при $Re = 2$ является формула Стокса:

$$u_0 = (1 / 18) * ((\rho_1 - \rho) / (\mu)) * g * d^2, \quad (13.16)$$

где u_0 – гидравлическая крупность частицы, м/с; d – диаметр шарообразной частицы, м; ρ_1 – плотность частицы, кг/м³; ρ – плотность жидкости, кг/м³; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, Па*с; g – ускорение силы тяжести, м/с².

Эффект осаждения зависит от высоты слоя воды, в котором происходит отстаивание. Глубина отстаивания H в натуральных сооружениях равна 2÷4 м. В лабораторных условиях кинетика процесса отстаивания сточных вод обычно изучается при меньшей высоте слоя воды.

Исходными данными при расчете отстойников на любую степень полноты выделения из сточных вод нерастворимых примесей, независимо от их вида, являются:

1) объем сточных вод и начальная концентрация в них взвешенных веществ C_1 ;

2) допустимая конечная концентрация C_2 взвешенных веществ в отстойной воде, принимаемая в соответствии с санитарными нормами или обусловленная технологическими требованиями, как, например, при расчете первичных отстойников перед аэротенками на полную очистку и биофильтрами, когда C_2 должна быть 100÷150 мг/л;

3) условная гидравлическая крупность u_0 частиц, которые требуется выделить из воды; высота столба воды h в лабораторном цилиндре, в котором производится технологический анализ (отстаивание) сточной воды;

4) показатель степени n , отражающий влияние агломерации взвешенных частиц при их осаждении. Необходимый рабочий эффект осветления определяется из выражения:

$$\mathcal{E} = ((C_1 - C_2) / C_1) * 100. \quad (13.17)$$

Соответственно этому эффекту принимаются наименьшая скорость осаждения (гидравлическая крупность частиц) u_0 (мм/с) или продолжительность отстаивания, по которым определяются основные размеры первичных отстойников.

Эффект отстаивания сточных вод \mathcal{E} и происходящее при этом уплотнение осадка, влияют на экономичность и устойчивость работы очистных сооружений, особенно при биологической очистке сточных вод.

Увеличение выноса взвешенных частиц из первичных отстойников приводит к увеличению объема избыточного активного ила в аэротенках. Влажность активного ила (99 %) значительно превышает влажность осадка (93÷95 %) из первичных отстойников. Это вызывает необходимость увеличения вместимости илоуплотнителей и всех последующих сооружений для обработки избыточного активного ила.

В целях повышения эффективности работы отстойников, особенно при содержании в сточной воде взвешенных веществ более 300 мг/л, необходимо принимать дополнительные меры:

а) добавлять к сточным водам химические реагенты – коагулянты, способствующие увеличению гидравлической крупности частиц примесей;

б) добавлять хорошо оседающие взвешенные вещества, в частности, активный ил, выполняющий роль сорбента и биокоагулянта;

в) предварительно аэрировать сточные воды, что способствует флокуляции (хлопьеобразованию и укрупнению) находящихся в сточной воде мельчайших нерастворенных примесей.

Химические реагенты применяют главным образом при очистке производственных сточных вод, биокоагуляцию и флокуляцию – при очистке бытовых сточных вод и их смесей с производственными водами.

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный на несколько отделений. Обычно строят два или несколько параллельно работающих отделений отстойника, чтобы при чистке или ремонте одного из них не выключать из работы все сооружения. Скорость перемещения взвешенной частицы в отстойнике представляет собой равнодействующую вертикальной скорости осаждения частицы u_0 под действием силы тяжести и скорости горизонтального движения воды v вдоль отстойника. Траектория движения частицы направлена здесь по равнодействующей этих двух скоростей. При заданных величинах H , L и v можно найти такое значение скорости осаждения u_0 , при котором равнодействующая пройдет через наиболее удаленную точку дна отстойника $г$. В отстойнике будут задерживаться лишь взвешенные частицы, имеющие скорость

осаждения $\geq u_0$, которая является наименьшей для данного отстойника. Ее называют охватываемой скоростью, т. е. гидравлической крупностью тех наиболее мелких взвешенных веществ, которые задерживаются отстойником указанной длины. Более мелкие частицы, скорость падения которых меньше u_0 , будут выноситься с водой. Эффективность выпадения взвешенных веществ из сточной воды в первичных отстойниках характеризуется данными таблицы 13.7.

Таблица 13.7 – Эффективность выпадения взвешенных веществ из бытовых сточных вод в первичных отстойниках

Эффективность выпадения взвешенных веществ, %	Скорость выпадения взвешенных веществ u_0 , мм/с (уменьшенная на величину вертикальной составляющей W) при начальной концентрации, мг/л			
	150	200	250	300 и более
30	1,3	1,8	2,25	3,2
35	0,9	1,3	1,6	2,1
40	0,6	0,9	1,05	1,4
45	0,4	0,6	0,75	0,95
50	0,25	0,35	0,45	0,6
55	0,15	0,2	0,25	0,4
60	0,05	0,1	0,15	0,2

При проектировании первичных горизонтальных отстойников для бытовых и близких им по составу производственных сточных вод рекомендуется принимать расчетную глубину отстойной (проточной) части ≈ 3 м (допускается 4 м), расчетную горизонтальную скорость потока $v = 5 \div 7$ мм/с, длину отстойника $L = (v * H) / u_0$ (здесь u_0 – по таблице 13.7). В таблице 13.8 приведены размеры типовых горизонтальных первичных отстойников.

Высота борта отстойника над поверхностью воды обычно не превышает 0,4 м. Между проточной и иловой частью отстойника предусматривается нейтральный слой высотой 0,4 м. Ширина отстойника принимается в зависимости от способа удаления из него осадка, однако с таким расчетом, чтобы число отделений отстойника было не менее двух. Обычно эта ширина не превыша-

ет 9 м. Ширину отстойника целесообразно увязывать с шириной аэротенков (6 и 9 м), чтобы иметь возможность объединить эти сооружения в секции.

Таблица 13.8 – Основные параметры горизонтальных первичных отстойников

Показатель	Отстойник шириной, м	
	6	9
Длина, м	24/30	30/36
Гидравлическая глубина, м	3,2÷4,4	3,2÷4,4
Расчетная глубина, м	3÷4	3÷4
Рабочий объем, м ³	536/690	1050/1260
Площадь сечения отводящего лотка с зубчатым водосливом, мм	450×600	600×900
Нагрузка на водослив, л/(м·с)	5,4	8,6
объем илового приемка, м ³	17	31
<i>Примечание.</i> Перед чертой приведена длина отстойников для сточных вод с концентрацией загрязнений по взвешенным веществам 140 и 200 мг/л, за чертой – то же, 280 мг/л.		

Унифицированные сборные панели высотой 3,6 и 4,8 м для прямоугольных емкостей позволяют подобрать по глубине проточной части два типоразмера горизонтальных отстойников – 3,2 и 4,4 м.

Осадок из отстойников удаляется под гидростатическим давлением и с помощью различных механизмов (скребков, насосов, элеваторов и др.). Основными преимуществами горизонтальных отстойников являются: малая глубина, хороший эффект очистки, возможность использования одного скребящего устройства для нескольких отделений. К недостаткам их относится необходимость применения большего числа отстойников вследствие ограниченной ширины.

Вертикальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар с коническим днищем. Сточная вода подводится к центральной трубе и спускается по ней вниз. При выходе из нижней части центральной трубы она меняет направление движения и медленно поднимается вверх к сливному желобу. При

этом из сточной воды выпадают грубодисперсные примеси, плотность которых больше плотности сточной воды. Для лучшего распределения воды по всему сечению отстойника и предотвращения взмучивания осадка опускающейся водой центральную трубу делают с раструбом, ниже которого устанавливают отражательный щит.

Каждая частица нерастворенных примесей, поступившая в отстойник, стремится двигаться вместе со слоем воды вверх с той же скоростью v , с какой движется вода; в то же время под действием силы тяжести она стремится вниз со скоростью u_0 , зависящей от размера и формы частиц, их плотности и вязкости жидкости.

Сточная вода содержит механические примеси различной гидравлической крупности, поэтому при протоке ее в отстойнике с какой-либо постоянной скоростью v частицы этих примесей будут занимать самые различные положения.

Одни из них (при $u_0 \geq v$) быстро осаждаются на дно отстойника, другие (при $u_0 = v$) находятся во взвешенном состоянии, третьи (при $u_0 \leq v$) увлекаются вверх. Последние на своем пути встречают зону воды с массой взвешенных частиц, так называемый взвешенный слой. Проходя его и сталкиваясь с более крупными частицами, мельчайшие частицы укрупняются, что способствует их осаджению.

Для бытовых сточных вод величину v принимают равной 0,7 мм/с. Продолжительность отстаивания зависит от требуемой степени осветления сточных вод и принимается в пределах от 30 мин (перед полями фильтрации) до 1,5 ч (перед аэротенками и биофильтрами).

Уровень воды в отстойнике определяется гребнем переливного (сборного) желоба, в который поступает отстоенная вода. Отсюда она направляется на последующую очистку. Взвешенные вещества, выделившиеся из сточной воды, образуют осадок (примерно 0,8 л/сутки по расчету на одного жителя), скапливающийся в иловой части отстойника, вместимость которой рассчитывают на двухсуточный объем осадка.

Осадок из вертикальных отстойников удаляют под действием гидростатического давления через иловую трубу диаметром

200 мм, выпуск которой расположен на $1,5 \div 2$ м ниже уровня воды в отстойнике. Влажность осадка 95 %. Вертикальные отстойники имеют преимущества по сравнению с горизонтальными; к числу их относятся удобство удаления осадка и меньшая площадь, занимаемая сооружением. Однако они имеют и ряд недостатков, из которых можно отметить:

а) большую глубину, что повышает стоимость их строительства, особенно при наличии грунтовых вод;

б) ограниченную пропускную способность, так как диаметр их не превышает 9 м.

При проектировании вертикальную скорость движения сточной воды v принимают равной наименьшей скорости выпадения u_0 той части взвешенных веществ, на содержание которой рассчитывается отстойник; величина u_0 устанавливается по графику осаждения взвешенных частиц. Расчетная площадь поперечного сечения отстойника равна площади поверхности воды в нем (в плане) за вычетом площади центральной трубы. Рабочей длиной (высотой) отстойника является расстояние от низа центральной трубы до поверхности воды. Площадь f центральной трубы (или общую площадь всех труб, если имеется несколько отстойников) определяют по максимальному секунднему расходу сточной воды q , $\text{м}^3/\text{с}$, и скорости в центральной трубе v_i , $\text{м}/\text{с}$:

$$f = q / v_i . \quad (13.18)$$

Скорость v_i , обычно принимаемая равной 0,03 $\text{м}/\text{с}$, не должна превышать 0,1 $\text{м}/\text{с}$ при наличии отражательного щита.

Высота проточной части отстойника или длина центральной его трубы:

$$h = v * t , \quad (13.19)$$

но не менее 2,7 м.

Общий объем проточной части всех отстойников (если их несколько), м^3 :

$$W = (Q * K * t) / 24 , \quad (13.20)$$

где Q – средний суточный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{сутки}$; K – коэффициент неравномерности притока сточной воды.

Общая рабочая площадь отстойников, м^2 :

$$F_1 = W / h . \quad (13.21)$$

Полную площадь (в плане) отстойников определяют как сумму полезной их площади F_1 и площади f , занимаемой центральной трубой (или центральными трубами):

$$F = F_1 + f . \quad (13.22)$$

Диаметр центральной трубы d определяют по скорости нисходящего движения воды в ней, равной 0,03 м/с. Диаметр вертикального отстойника не должен превышать его рабочую глубину более чем в три раза. Эффект осветления сточной воды в вертикальных отстойниках составляет практически не более 40 %, теоретически расчет ведется на эффект осветления 50 %.

Число отстойников зависит от принятого конструктивного типа, диаметра одного отстойника и расчетного расхода сточной воды. Полная строительная высота (глубина) отстойника $H_{стр}$ определяется как сумма высоты проточной части, нейтрального слоя, иловой части (камеры) и высоты борта над уровнем воды, принимаемой 0,3÷0,4 м.

Высота иловой камеры зависит от ее объема и диаметра отстойника. Расчетную вместимость иловой камеры определяют по объему выпадающего осадка и продолжительности пребывания его в камере. Иловую часть отстойников выполняют конической (для круглых отстойников) с углом наклона стенок днища 50°, чтобы обеспечить сползание осадка. Внизу конуса (или пирамиды) устраивают площадку диаметром 0,4 м.

Во избежание попадания в сток всплывших загрязнений перед сборными лотками (периферийными и радиальными) устанавливают полупогружные доски (щитки), расположенные на расстоянии 0,3÷0,5 м от лотка; их погружают в воду на глубину 0,25÷0,3 м от поверхности воды; высота непогруженной в воду части должна быть не менее 0,2÷0,3 м.

Основные размеры типовых вертикальных отстойников из сборного железобетона приведены в таблице 13.9.

Радиальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар. Сточная вода подается в центр отстойника снизу вверх и движется радиально от центра к периферии. Особенностью гидравлического режима работы радиального отстойника является то, что скорость движения воды изменяется от максимального его значения в центре отстойника до минимального у периферии.

Таблица 13.9 – Основные параметры вертикальных отстойников из сборного железобетона

Диаметр отстойника, м	Пропускная способность при T = 1,5 ч, л/с	Высота, м		
		общая	цилиндрической части	конической части
4	8,6	5,9	4,1	1,8
6	19,3	6,9	4,1	2,8
9	43,5	9,3	4,2	5,1

Плавающие вещества удаляются с поверхности воды в отстойнике подвесным устройством, размещенным на вращающейся ферме, и поступают в приемный бункер или в сборный лоток. Выпадающий осадок с помощью скребков, укрепленных на подвижной ферме, сдвигается в приямок отстойника. Частота вращения подвижной фермы $2 \div 3 \text{ ч}^{-1}$; вращение осуществляется с помощью периферийного привода с тележкой на пневмомашине. Осадок удаляется по трубопроводу с помощью плунжерных и центробежных насосов, установленных в расположенной рядом насосной станции. Всплывающие вещества отводятся в жиросборник.

Осветленная вода поступает в круговой сборный лоток через один или через оба его борта, являющихся водосливами. В целях обеспечения более надежного выравнивания скорости движения воды на выходе из отстойника водосливы сборных лотков выполняют зубчатыми. Нагрузка на 1 м водослива не превышает 10 л/с.

Радиальные отстойники строят диаметром $18 \div 54 \text{ м}$ (в таблице 13.20 приведены основные размеры первичных радиальных отстойников), а на зарубежных очистных станциях – диаметром $6 \div 60 \text{ м}$ и более. Радиальные отстойники применяют в качестве как первичных так и вторичных. Отношение диаметра отстойника к его глубине у периферийного водосборного лотка принимают от 6 до 12.

Отстойники задерживают до 60 % взвешенных веществ.

Расчет первичных радиальных отстойников производится на максимальный часовой приток по продолжительности отстаивания, принимаемой для бытовых сточных вод равной 1,5 ч.

Таблица 13.20 – Унифицированные размеры
первичных радиальных отстойников из сборного
железобетона

Диаметр отстойника, м	Глубина зоны отстаивания, м	Расчетный объем отстойной зоны, м ³	Расчетная пропускная способность при T = 1,5 ч, м ³ /ч
18	3,1	788	550
24	3,1	1400	930
30	3,1	2 190	1460
40	3,65	4 580	3054
50	4,7	9 220	6150
54	5,7	10 500	7000

Вместимость приемка для сбора осадка в отстойнике определяют по объему осадка, образовавшегося в течение 4 ч. Стенки приемка имеют наклон 60°, что облегчает сползание осадка. В зависимости от объема выпавшего осадка скребковый механизм работает непрерывно или периодически. В последнем случае он включается за 1 час до начала удаления осадка. Процесс удаления автоматизирован. Влажность осадка равна 95 % при самотечном удалении и 93,5 % при удалении насосами. Диаметр иловой трубы определяют расчетом, однако он должен быть не менее 200 мм.

Высота бортов отстойника над поверхностью воды в нем обычно равна 0,3 м. Преимуществом радиальных отстойников является небольшая глубина, что удешевляет их строительство. Круглая в плане форма позволяет устанавливать минимальные по толщине стенки, что также снижает стоимость сооружений.

Независимо от производительности очистной станции минимальное число отстойников принимается с таким расчетом, чтобы на первую очередь строительства иметь не менее двух рабочих отстойников. Часто komponуют четыре отстойника в единый блок. Равномерное распределение сточной воды между отстойниками осуществляется с помощью распределительной чаши.

При выборе типоразмеров отстойников учитывается, что более крупные отстойники экономичнее по сравнению с малогабаритными. Для повышения эффекта очистки при БПК_{полн} сточной

воды более 130 мг/л радиальный отстойник может иметь преаэра-тор, установленный в центральном распределительном устройстве. Предварительная аэрация с избыточным активным илом городских сточных вод позволяет вывести из их состава при отстаивании соединения хрома, меди, цинка в тонкодисперсном и коллоидном состоянии. Однако преаэрация сточной воды повышает влажность сырого осадка до 94,5 % по сравнению с влажностью осадка при обычном отстаивании (93,5 %).

Разновидностью радиальных отстойников являются отстойники с периферийной подачей в них сточных вод. Водораспределительный желоб опоясывает отстойник по окружности и имеет постоянную ширину и постепенно уменьшающуюся от начала к концу желоба глубину. В дне желоба имеются круглые впускные отверстия, расположенные так, что в сочетании с переменной глубиной желоба, различными диаметрами отверстий и расстоянием между ними обеспечивается постоянная скорость движения воды в желобе.

Постоянство скорости предупреждает выпадение осадка в распределительном желобе и создает благоприятные условия для транспортирования плавающих веществ в сборник, расположенный в конце желоба. Поступившая из отверстий вода направляется вертикальной кольцевой перегородкой в нижнюю зону отстойника. Скорость нисходящего потока постепенно уменьшается и достигает минимума у кольцевого отражателя, направляющего поток в центральную зону отстойника и далее к водоотводящему кольцевому желобу. Небольшая скорость потока обуславливает начало выпадения взвешенных веществ уже у выхода из-под кольцевой перегородки. Движение воды происходит по всему живому сечению отстойника, при этом местные завихрения практически отсутствуют. Поступление осветляемой воды в отстойник у его дна обеспечивает кратчайший путь осаждения взвешенных веществ.

Отмеченные особенности гидравлического режима работы таких отстойников обуславливают более высокий эффект задержания взвешенных веществ, чем в обычных радиальных отстойниках с подачей сточной воды из центра. Продолжительность отстаивания в отстойниках с периферийным впуском воды при-

нимается меньше, чем в обычных отстойниках, при одинаковом эффекте осветления сточных вод.

Радиальный отстойник с вращающимися водораспределительным и водосборным устройствами, предложен И.В. Скирдовым. Основная масса воды в отстойниках с такими устройствами находится в покое, поэтому осаждение взвешенных веществ в них происходит с такой же скоростью, как и в лабораторных условиях.

Подача воды в отстойник и отвод осветленной воды производятся с помощью свободно вращающегося желоба, разделенного продольной перегородкой на две части.

Необходимая продолжительность отстаивания t зависит от глубины зоны отстаивания h_0 и скорости осаждения u_0 частиц, на задержание которых рассчитывается отстойник, т. е. $t = h_0 / u_0$.

Глубина h_0 зависит от конструкции водоприемных устройств; в случае применения лотков с затопленным водосливом она обычно принимается от 0,8 до 1,2 м. Высоту нейтрального слоя принимают от 0,5 до 0,6 м, глубину слоя осадка $h_{и}$ – от 0,3 до 0,4 м.

В течение времени t водораспределительный и водосборный лоток должен сделать один оборот. В этом случае им будет собрана отстоявшаяся вода, объем которой:

$$Q = K * \pi * R^2 * h_0, \quad (13.23)$$

где K – опытный коэффициент использования зоны отстаивания, равный 0,85; R – радиус отстойника.

Величиной Q характеризуется пропускная способность отстойника.

Осветлитель с естественной аэрацией представляет собой вертикальный отстойник с внутренней камерой флокуляции. Сточная вода поступает по лотку в центральную трубу, на конце которой прикреплен отражательный щит. Вследствие разницы уровней воды (0,6 м) в подводящем лотке и осветлителе происходит эжекция воздуха потоком сточных вод, поступающих в осветлитель.

В камере флокуляции происходит частичное окисление органических веществ и усиленное хлопьеобразование, способствующее интенсификации процесса. Из камеры флокуляции сточная

вода направляется в отстойную зону осветлителя, в которой при прохождении через слой взвешенного осадка задерживаются мелкодисперсные взвешенные частицы.

Осветленная вода через кромку водослива переливается в периферийный лоток и далее в отводящий. Выпавший осадок под гидростатическим напором удаляется по трубе в иловый колодец.

Плавающие вещества задерживаются внутренней стенкой сборного лотка и по мере накопления сбрасываются в иловый колодец по трубе через кольцевой лоток.

В результате эффект очистки стоков в сооружении достигает 75 %. Пропускная способность осветлителя диаметром 9 м при продолжительности пребывания в нем сточной жидкости 1,5 ч–53,6 л/с, а осветлителя диаметром 6 м – 23,6 л/с. Осветлители компонуются в блок из двух и четырех сооружений.

Тонкослойные отстойники представляют собой открытые и закрытые резервуары. Как и обычные отстойники, они имеют водораспределительную, отстойную и водосборную зоны, а также зону накопления осадка. Отстойная зона полочными секциями или трубчатыми элементами делится на ряд неглубоких слоев (до 15 см).

Полочные секции монтируются из плоских или волнистых пластин, удобных в эксплуатации. Трубчатые секции характеризуются большей жесткостью конструкции, обеспечивающей постоянство размеров по всей длине. Они могут работать с более высокими скоростями, чем полочные секции, но быстрее заиливаются осадками, труднее поддаются очистке и требуют повышенного расхода материалов.

Уменьшение высоты отстаивания обеспечивает снижение турбулентности, характеризуемое $Re \leq 500$, и вертикальной составляющей пульсаций потока сточной воды, вследствие чего повышается коэффициент использования объема и уменьшается продолжительность отстаивания (до нескольких минут).

Реконструкция обычных отстойников в тонкослойные позволяет повысить их производительность в 2÷4 раза. Для осаждения взвешенных веществ из воды в тонком слое как в Кыргызской Республике, так и за рубежом используется большое число тонкослойных отстойников различных конструкций.

Основные схемы взаимного движения воды и выделенного осадка следующие:

а) перекрестная схема – когда выделенный осадок движется перпендикулярно движению рабочего потока жидкости;

б) противоточная схема – выделенный осадок удаляется в направлении, противоположном движению рабочего потока;

в) прямоточная схема – направление движения осадка совпадает с направлением водного потока.

Наиболее рациональной конструкцией тонкослойного отстойника следует считать отстойник с противоточной схемой движения фаз, снабженный пропорциональным распределительным устройством.

13.4. Сооружения для предварительной аэрации и биокоагуляции

В обычных первичных отстойниках задерживается 30÷50 % всех содержащихся в сточных водах нерастворенных примесей и лишь при весьма благоприятных условиях 60 %. Для более полного осветления сточных вод, как уже говорилось ранее, принимается ряд побудительных мер. Одной из них является предварительная кратковременная аэрация сточных вод. Аэрация производится или в каналах, подводящих воду к отстойникам, или в специально построенных для этого сооружениях – преаэраторах. В процессе аэрации происходит флокуляция и коагуляция мельчайших частиц нерастворенных примесей в сточной воде, плотность которых мало отличается от плотности самой воды. В результате эти частицы изменяют свою гидравлическую крупность и быстрее оседают при последующем отстаивании. Преаэраторы устраиваются перед первичными отстойниками и могут конструктивно с ними объединяться. Аэрация сточных вод может производиться как без добавления к ним избыточного ила из вторичных отстойников после биофильтров или аэротенков, так и с добавлением такого ила. В последнем случае процесс называется биокоагуляцией.

Простая аэрация (без добавочного ила), малоэффективна; она улучшает работу первичных отстойников на 5÷8 % (по задержа-

нию взвешенных веществ и по снижению БПК). Продолжительность аэрации составляет 10÷20 мин, считая по максимальному притоку воды; расход воздуха – около 0,5 м³ на 1 м³ аэрируемой сточной воды.

Предварительная аэрация способствует (за счет более полного выделения взвешенных частиц) лучшей подготовке сточных вод к последующей их биологической очистке.

Более высокий эффект удаления взвешенных веществ и снижения БПК сточных вод дает предварительная аэрация с добавлением ила из вторичных отстойников. Объясняется это тем, что помимо физико-химических процессов (коагуляции, флокуляции и сорбции) при биокоагуляции происходит биохимическое окисление некоторой части легкоокисляющихся растворенных веществ.

При устройстве преаэраторов рекомендуется предусматривать возможность предварительной регенерации активного ила. Вместимость регенераторов рекомендуется принимать равной 0,25÷0,3 от общего объема преаэраторов. Значительный интерес представляет так называемая совмещенная аэрация. Биокоагулятор и отстойник здесь совмещены в одном сооружении, разделенном на две основные зоны: аэрации и отстаивания.

Эффект снижения загрязнений по взвешенным веществам при биокоагуляции повышается примерно на 30 % по сравнению с простым отстаиванием, а по БПК₂₀ – на 35 %. Оптимальная доза подаваемого активного ила колеблется от 100 до 400 мг/л.

Эффективность задерживания взвешенных веществ в первичных отстойниках с преаэраторами повышается до 65÷70 %. БПК₂₀ осветленной воды понижается примерно на 15 %. Вынос взвешенных веществ из отстойников при применении преаэрации составляет около 100 мг/л. Объем подаваемого активного ила обычно составляет 50 % его избыточного количества.

Одним из путей повышения эффективности выделения из сточных вод нерастворенных примесей может стать применение осветлителей со взвешенным фильтром. В этих сооружениях совмещаются осаждение и фильтрация сточной воды через слой хлопьев осадка. Осветлители могут работать как с предварительной коагуляцией и аэрацией сточных вод, так и без такой подготовки. Применение их в качестве первичных отстойников для бытовых сточных вод не рекомендуется.

14. ОБРАБОТКА, ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ

14.1. Характеристика осадков, методы обработки, применяемые сооружения

В результате механической и биологической очистки городских сточных вод на очистных сооружениях образуются различного вида осадки, содержащие органические вещества. Это отбросы, задерживаемые решетками, осадок, выпадающий в первичных отстойниках, активный ил или биопленка, образующиеся в сооружениях аэробной биологической очистки воды.

Отбросы после дробления обычно сбрасываются в канал перед первичными отстойниками, улавливаются ими и попадают, таким образом, в сырой осадок. Общий объем осадков, как правило, не превышает 1 % объема обрабатываемых стоков, при этом на долю активного ила приходится 60÷70 % образующихся осадков.

Осадок из первичных отстойников крайне неоднороден по фракционному составу. По данным предприятий очистных станций Российской Федерации, содержание в нем частиц крупностью более 7÷10 мм составляет 5÷20 %, крупностью 1÷7 мм – 9÷33 %, крупностью менее 1 мм – 50÷88 % массы сухого вещества.

Осадок имеет влажность 92÷96 %, слабокислую реакцию среды, в значительной степени насыщен микроорганизмами (в том числе патогенными), содержит яйца гельминтов.

Активный ил по фракционному составу значительно однороднее осадка первичных отстойников; около 98 % (по массе) частиц ила имеют размер менее 1 мм. Влажность активного ила в зависимости от принятой схемы обработки составляет 96÷99,2 %. Хлопья ила, состоящие из большого числа многослойно расположенных микробных клеток, заключенных в слизь, обладают очень развитой удельной площадью поверхности, составляющей около 100 м² на 1 г сухого вещества. Так же как осадок, ил может быть заражен яйцами гельминтов.

Твердая фаза осадков городских сточных вод состоит из органических и минеральных веществ Органическая, или беззольная, часть в осадке из первичных отстойников составляет 65÷75 % массы сухого вещества, в иле – 70÷75 %. Соответственно зольность осадка колеблется от 25 до 35 %, ила – от 25 до 30 %. Основными компонентами беззольной части осадка и ила являются белково-, жиро-, углеводоподобные вещества, в сумме составляющие 80÷85 %. Остальные 15÷20 % приходятся на долю лигнино-гумусового комплекса соединений.

Количественные соотношения отдельных компонентов в осадке и иле различны. Если в беззольном веществе осадка преобладают жироподобные вещества и углеводы, то в активном иле значительную часть органического вещества составляют белки.

Осадки сточных вод содержат ценные удобрительные вещества (азот, фосфор, калий, микроэлементы) и могут быть использованы в качестве удобрения. Проведенные исследования показали, что активный ил может быть использован в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных. Питательная ценность активного ила обусловлена высоким содержанием белка и витаминов. Ил городских очистных станций содержит почти все витамины группы В и особенно много витамина В₁₂.

Химический состав осадков, по данным Курьяновской станции аэрации (г. Москва), приведен в таблице 14.1.

Таблица 14.1 – Химический состав осадков сточных вод

Вид осадка	Белки	Жиры	Угле- воды	Азот общий	Фосфор (P ₂ O ₅)	Содержание бак- терий Coli в 1 г сухого вещества
	% беззольного вещества			% сухого вещества		
Осадок из первичных отстойников	28÷32	25÷30	14÷18	5÷6	3,5÷4	10 ⁷ ÷10 ⁸
Активный ил	40÷44	18÷23	4÷7	8÷10	8÷9	4*10 ⁸ ÷3*10 ⁷

Состав осадка и ила может меняться в значительных пределах и зависит от состава сточных вод, принятой схемы очистки и других факторов.

Большое содержание органических веществ обуславливает способность осадков быстро загнивать, а высокая бактериальная зараженность, наличие в них яиц гельминтов создают опасность распространения инфекций. Поэтому основной задачей обработки осадков является их обезвреживание: получение безопасного в санитарном отношении продукта.

Основным методом обезвреживания осадков городских сточных вод является анаэробное сбраживание. Брожение называется метановым, так как в результате распада органических веществ осадков в качестве одного из основных продуктов образуется метан.

В основе биохимического процесса метанового брожения лежит способность сообществ микроорганизмов в ходе своей жизнедеятельности окислять органические вещества осадков сточных вод. Промышленное метановое брожение осуществляется широким спектром бактериальных культур.

Теоретически рассматривают брожение осадков, состоящее из двух фаз: кислой и щелочной.

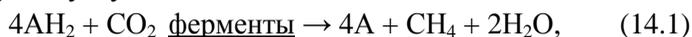
В первой фазе кислого или водородного брожения сложные органические вещества осадка и ила под действием внеклеточных бактериальных ферментов сначала гидролизуются до более простых: белки – до пептидов и аминокислот, жиры – до глицерина и жирных кислот, углеводы – до простых сахаров. Дальнейшие превращения этих веществ в клетках бактерий приводят к образованию конечных продуктов первой фазы, главным образом органических кислот. Более 90 % образующихся кислот составляют масляная, пропионовая и уксусная. Образуются и другие относительно простые органические вещества (альдегиды, спирты) и неорганические (аммиак, сероводород, диоксид углерода, водород).

Кислую фазу брожения осуществляют обычные сапрофиты: факультативные анаэробы типа молочнокислых, пропионовокислых бактерий и строгие (облигатные) анаэробы типа маслянокислых, ацетонобутиловых, целлюлозных бактерий. Большинство видов бактерий, ответственных за первую фазу брожения, относится к спорообразующим формам.

Во второй фазе щелочного или метанового брожения из конечных продуктов первой фазы образуются метан и угольная кислота в результате жизнедеятельности метанобразующих бак-

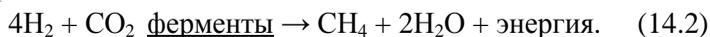
терий – неспорозных облигатных анаэробов, очень чувствительных к условиям окружающей среды. Изученные виды метанобразующих бактерий относятся к трем родам: *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanosarcina*. Особенностью этих бактерий является их строгая специфичность к используемому субстрату. Например, *Methanobacterium formicicum* окисляет только молекулярный водород и муравьиную кислоту, а *Methanobacterium syboxydans* использует более сложные соединения: валериановую и капроновую кислоты и бутиловый спирт. Однако в целом смешанная культура метанобразующих бактерий способна использовать практически все основные продукты кислой фазы брожения.

Метан образуется в результате восстановления CO_2 или метильной группы уксусной кислоты:



где АН_2 – органическое вещество, служащее для метанобразующих бактерий донором водорода; обычно это жирные кислоты (кроме уксусной) и спирты (кроме метилового).

Многие виды метанобразующих бактерий окисляют молекулярный водород, образующийся в кислой фазе. Тогда реакция метанообразования имеет вид:



Микроорганизмы, использующие уксусную кислоту и метиловый спирт, осуществляют реакции:



Все перечисленные реакции являются источниками энергии для метанобразующих бактерий, и каждая из них представляет собой серию последовательных ферментативных превращений исходного вещества. В настоящее время установлено, что в процессе метанообразования принимает участие витамин B_{12} , которому приписывают основную роль в переносе водорода в энергетических окислительно-восстановительных реакциях у метанобразующих бактерий.

В зависимости от химического состава осадков при сбраживании выделяется от 5 до 15 м³ газа на 1 м³ осадка. Скорость процесса брожения зависит от температуры. Так, при температуре

осадка $+25\div 27$ °С процесс длится $25\div 30$ дней; при $+10$ °С продолжительность его увеличивается до 4 месяцев и более. Для ускорения сбраживания и уменьшения объема необходимых для этого сооружений применяют искусственный подогрев до температуры $+30\div 35$ °С или $+50\div 55$ °С.

Для нормально протекающего процесса метанового брожения характерны слабощелочная реакция среды ($\text{pH}\leq 7,6$), высокая щелочность иловой воды ($65\div 90$ мг-экв/л) и низкое содержание жирных кислот (до $5\div 12$ мг-экв/л). Концентрация аммонийного азота в иловой воде достигает $500\div 800$ мг/л.

Большое значение для нормального сбраживания осадка имеет состав сточных вод, в частности наличие в них таких веществ, которые угнетают или парализуют жизнедеятельность микроорганизмов, осуществляющих процесс сбраживания осадка. Поэтому вопрос о возможности совместной очистки производственных и бытовых сточных вод следует разрешать в каждом отдельном случае в зависимости от их характера и физико-химического состава.

Для обработки и сбраживания сырого осадка применяют три вида сооружений:

- 1) септики (септик-тенки);
- 2) двухъярусные отстойники (эмшеры);
- 3) метантенки.

В септиках одновременно происходит осветление воды и перегнивание выпавшего из нее осадка. Септики в настоящее время применяют на станциях небольшой пропускной способности.

В двухъярусных отстойниках отстойная часть отделена от гнилостной (септической) камеры, расположенной в нижней части.

Развитием конструкции двухъярусного отстойника является осветлитель-перегниватель.

Для обработки осадка в настоящее время наиболее широко используют метантенки, служащие только для сбраживания осадка при искусственном подогреве и перемешивании.

Для обработки небольших объемов осадков (главным образом активного ила) в последнее время применяют метод аэробной стабилизации, осуществляемый в сооружениях типа аэротенков. Сущность аэробной стабилизации состоит в аэробном окислении биологически доступных органических веществ осадков и в са-

моокисления бактериальной массы. Аэробной стабилизации могут подвергаться как активный ил, так и сырой осадок, и их смесь.

Сброженный осадок имеет высокую влажность (95÷98 %), что затрудняет применение его в сельском хозяйстве для удобрения (из-за трудности перемещения обычными транспортными средствами без устройства напорных разводящих сетей). Влажность является основным фактором, определяющим объем осадка. Поэтому основной задачей обработки осадка является уменьшение его объема за счет отделения воды и получение транспортабельного продукта.

Осадки плохо отдают воду и относятся к категории труднофильтрующихся иловых суспензий. Соотношение в осадках между свободной и связанной водой влияет на способность их отдавать воду. Свободная вода может быть удалена из осадка фильтрацией или отжимом. Часть свободной воды удаляется при гравитационном уплотнении осадков, при этом объем осадков значительно уменьшается. Например, при изменении влажности осадка с 96 до 92 % объем его уменьшается в два раза.

Уплотнение активного ила, в отличие от уплотнения сырого осадка, сопровождается изменением свойств ила. Активный ил как коллоидная система обладает высокой структурообразующей способностью, вследствие чего его уплотнение приводит к переходу части свободной воды в связанное состояние, а увеличение содержания связанной воды в иле приводит к ухудшению водоотдачи. Применяя специальные методы обработки, например обработку химическими реагентами, можно добиться перевода части связанной воды в свободное состояние. Однако значительную часть связанной воды можно удалить лишь в процессе испарения.

На способность осадков отдавать воду влияет ряд факторов: влажность, степень дисперсности частиц твердой фазы, структура осадка и его химический состав. Обобщающим показателем, характеризующим способность осадков к водоотдаче (фильтруемость осадка), является удельное сопротивление фильтрации – сопротивление, оказываемое потоку фильтрата, равномерным слоем осадка, масса которого на единице площади фильтра равна единице. Чем выше удельное сопротивление, тем труднее отдает воду осадок.

Активный ил имеет значительно большее сопротивление фильтрации, чем сырой осадок. Связано это с тем, что в иле много коллоидных веществ и основную массу составляют очень мелкие частицы.

Удельное сопротивление осадка после сбраживания увеличивается, так как сброженный осадок приобретает более мелкую и однородную структуру. Число частиц размером менее 1 мм составляем в нем около 85 %.

Удельное сопротивление фильтрации служит исходной величиной при выборе метода обезвоживания осадка. Для снижения удельного сопротивления фильтрации и интенсификации процесса отделения воды осадки перед обезвоживанием подвергают предварительной обработке. При этом, чем больше удельное сопротивление, тем более глубокая требуется предварительная обработка.

К методам предварительной обработки относятся: промывка осадка водой, обработка его химическими реагентами, замораживание с последующим оттаиванием, тепловая обработка.

Наиболее простым способом обезвоживания является подсушивание осадка на иловых площадках, где его влажность может быть уменьшена до 75÷80 %. При этом осадок уменьшается в объеме и по массе в 4÷5 раз, теряет текучесть и может легко транспортироваться к месту его использования. Однако способ подсушивания требует больших земельных участков, и, кроме того, влажность подсушенного осадка остается все еще слишком высокой.

В последние годы все более широкое применение находят механические и термические способы удаления влаги. Для механического обезвоживания осадков наибольшее применение нашли вакуум-фильтры. Однако в последнее время в зарубежной практике наряду с ними начали применять центрифуги и фильтр-прессы.

При обезвоживании сырых осадков и осадков, сброженных в мезофильных условиях или аэробностабилизированных, требуется их обеззараживание, поскольку эти осадки могут содержать яйца гельминтов. Обеззараживание достигается прогреванием осадка до +60 °С, компостированием, облучением, термической сушкой.

Получаемый в результате механического обезвоживания осадок содержит еще 75÷85 % воды, составляющей таким образом около 3/4 его массы. Термическая сушка осадка позволяет снизить его влажность до 20÷35 %, что значительно облегчает условия перевозки и хранения. Высушенный осадок можно в расфасованном виде доставлять к месту его использования.

Для полной ликвидации органических компонентов осадков их сжигают. Метод сжигания применим в тех случаях, когда невозможна или экономически нецелесообразна утилизация осадка. Препятствием к использованию осадка как удобрения может быть наличие в нем токсичных веществ и некоторых других примесей, поступающих в городскую систему водоотведения с производственными сточными водами.

14.2. Септики

Септики применяют для предварительной обработки сточных вод, поступающих от малых населенных пунктов и отдельно расположенных объектов, с расходом не более 25 м³/сутки.

Септик представляет собой прямоугольный или круглый проточный резервуар, в котором из сточной воды при ее медленном движении выпадают взвешенные вещества. Выпавший осадок находится в резервуаре от 6 до 12 месяцев, в течение которых он подвергается анаэробному разложению. Чтобы обеспечить малую скорость движения сточной воды и возможность длительного пребывания осадка, объем септиков должен быть очень большим. Вследствие этого стоимость их получается высокой.

Достоинство септиков состоит в том, что процент задержания в них нерастворенных веществ довольно высок. Однако септикам свойственны существенные недостатки. Вследствие непрерывного поступления в них свежих порций осадка распад органического вещества зачастую идет лишь до образования жирных кислот без последующего превращения их в метан и углекислоту. Накопление кислот вызывает замедление процесса сбраживания. Мельчайшие пузырьки газа (метана, диоксида углерода и частично сероводорода), выделяющиеся в результате сбраживания осадка, поднимаются вверх и увлекают за собой иловые части-

цы, которые образуют на поверхности септика уплотненную корку. Толщина корки обычно колеблется от 0,35 до 0,4 м, но иногда достигает 1 м. Всплывающие и опускающиеся частицы осадка, насыщенные гнилостными газами, соприкасаясь с очищаемой водой в септике, снова загрязняют ее, затрудняя дальнейшую очистку. Сточная вода, выходящая из септика, приобретает неприятный резкий запах сероводорода и кислую реакцию. Очистка такой воды иногда более затруднительна, чем сырой. Под влиянием сероводорода стенки железобетонного септика быстро разрушаются. По этим причинам область применения септиков весьма ограничена.

14.3. Двухъярусные отстойники

Двухъярусные отстойники, или эмшеры, применяются для отстаивания сточной воды, сбраживания и уплотнения выпавшего осадка. Благодаря простоте, сооружения подобного типа получили большое распространение как в Кыргызстане, так и за рубежом, главным образом, для небольших и средних установок с расходом до 10 тыс. м³/сутки.

Двухъярусный отстойник представляет собой сооружение цилиндрической или прямоугольной формы с коническим или пирамидальным днищем. В верхней части сооружения расположены осадочные желоба, а нижняя часть является иловой (гнилостной или септической) камерой. Осадочные желоба, по которым протекает сточная вода, выполняют функции горизонтального отстойника, и в них происходит выпадение оседающих взвешенных веществ. Выпавший осадок сползает по наклонным стенкам нижней части желоба в щель шириной 0,15 м и падает в иловую камеру. Нижние грани желоба должны перекрывать одна другую примерно на 0,15 м, чтобы всплывающие при перегнивании частицы ила и пузырьки газа не попадали в осадочный желоб.

Осадок, попавший в иловую камеру, подвергается сбраживанию, процесс которого идет в две фазы, чем существенно отличается от процесса сбраживания в септиках. Процесс распада осадка в двухъярусных отстойниках при нормальной их работе (щелочное брожение) идет без выделения дурнопахнущих газообразных про-

дуктов; зрелый осадок имеет характерный слабый запах асфальта или сургуча. Искусственный подогрев осадка в двухъярусных отстойниках обычно не предусматривается. В большинстве случаев для них характерен температурный интервал от +10 до +15 °С, поэтому для созревания осадка требуется от 60 до 120 дней. Для предохранения иловой части двухъярусных отстойников от охлаждения их заглубляют в землю или обсыпают со всех сторон землей. Поверхность сооружений на зиму следует утеплять.

14.4. Метантенки. Принцип работы метантенков

Более совершенными сооружениями для сбраживания осадков являются метантенки. Сокращение сроков сбраживания в них за счет искусственного подогрева приводит к значительному уменьшению объема сооружений. В настоящее время метантенки широко применяются в Кыргызстане и в зарубежной практике.

Метантенк представляет собой цилиндрический железобетонный резервуар с коническим днищем и герметическим перекрытием, в верхней части которого имеется колпак для сбора газа, откуда газ отводится для дальнейшего использования.

Осадок в метантенке перемешивается и подогревается с помощью особых устройств. В зависимости от температуры, при которой происходит брожение, различают два типа процесса – мезофильное сбраживание, происходящее при температуре +30÷35 °С, и термофильное сбраживание, происходящее при температуре +50÷55 °С. За рубежом в основном применяется мезофильный процесс.

Наряду с мезофильным сбраживанием широкое распространение получил и термофильный процесс. Термофильное сбраживание отличается большей интенсивностью распада органических веществ и заканчивается примерно в два раза быстрее, за счет чего вдвое сокращается требуемый объем сооружений. При термофильном сбраживании достигается полная дегельминтизация осадка, тогда как в условиях мезофильных температур погибает лишь 50÷80 % яиц гельминтов.

Основным преимуществом мезофильного сбраживания является обеспечение процесса теплом, получаемым от сжигания га-

зов брожения. Подогрев осадка до термофильных температур, особенно в зимнее время, требует дополнительного расхода топлива, что влечет за собой увеличение эксплуатационных затрат. Осадок, сброженный в термофильных условиях, значительно труднее обезвоживается, чем осадок, сброженный при мезофильном процессе, поэтому выбор температурного режима брожения должен производиться с учетом принятой схемы дальнейшей обработки осадка.

Образующийся в метантенках газ состоит в основном из метана – 60÷67 % и угольной кислоты – 30÷33 %, содержание водорода не превышает 1÷2 %, азот составляет около 0,5 %. Высокое содержание метана в газе обуславливается распадом жиров и белков. Углеводы дают газ с большим содержанием угольной кислоты.

Установлено, что полного сбраживания беззольного вещества осадка и каждого из его компонентов независимо от условий сбраживания в метантенке, добиться невозможно. Все они имеют свой предел сбраживания, зависящий от их химического состава.

Типовые метантенки с коническими перекрытием и днищем имеют полезную вместимость 500÷4000 м³ (таблица 14.2).

Таблица 14.2 – Основные показатели по типовым проектам метантенков

Диаметр, м	Полезный объем одного резервуара, м ³	Высота, м			Строительный объем, м ³	
		верхнего конуса	цилиндрической части	нижнего конуса	здания обслуживания	киоска газовой сети
10,0	500	1,45	5	1,7	-	-
12,5	1000	1,9	6,5	2,15	652	100
15,0	1600	2,35	7,5	2,6	2035	112
17,5	2500	2,5	8,5	3,05	2094	136
20,0	4000	2,9	10,6	3,5	2520	174

Для транспортирования газа из метантенков прокладывают специальную газовую сеть. Вследствие того, что газ поступает из сооружения неравномерно, целесообразно на тупиковых концах

сети устраивать аккумулирующие газгольдеры, которые выравнивают давление газа в сети. Газовую сеть из стальных труб на сварке с усиленной и противокоррозионной изоляцией укладывают ниже глубины промерзания (но не менее 0,9 м) или утепляют (при прокладке по поверхности земли).

Для приема газа из метантенков используют мокрые газгольдеры, каждый из них состоит из резервуара, заполненного водой, и колокола, перемещающегося на роликах по направляющим. Вес колокола уравнивается противодавлением газа. Благодаря этому при изменении объема газа под колоколом давление в газгольдере и газовой сети остается постоянным.

Вместимость газгольдеров назначается в соответствии с графиком выхода и потребления газа. При отсутствии графика принимается емкость, равная 3-часовому притоку газа.

Газ, получаемый в метантенках в результате процесса сбраживания осадка, используется на энергетические нужды канализационных станций:

1) непосредственно в качестве горючего в котлах с газовыми горелками, для обогрева метантенков и отопления зданий очистных станций и поселков при них; этот способ использования газа является самым распространенным;

2) в газовых двигателях, приводящих в движение генератор, насосы и воздуходувки; при этом расход газа на 735,5 Вт мощности двигателя составляет для дизелей $0,3 \div 0,6 \text{ м}^3$, для карбюраторных, бензиновых или керосиновых двигателей $0,45 \div 0,65 \text{ м}^3$;

3) в качестве горючего для автомашин и бытового газоснабжения районов путем заполнения баллонов из газонаполнительной станции.

Метантенки и газгольдеры – сооружения взрывоопасные, поэтому их следует располагать на расстоянии не менее 40 м от основных сооружений станции, автомобильных и железных дорог и высоковольтных линий. На огражденной территории метантенков курить и разводить открытый огонь запрещается. Во всех помещениях пусковые и токоведущие устройства должны монтироваться во взрывобезопасном исполнении. Для проверки наличия газов необходимо пользоваться взрывобезопасной шахтерской лампой. Во избежание искробразования в камерах нужно рабо-

тать инструментом из цветного металла. Перед спуском в камеру необходимо ее проветрить в течение 10÷15 минут ручным вентилятором или компрессором. Замерзшие участки газопроводов следует обогреть паром, горячим песком или горячей водой.

14.5. Аэробная стабилизация осадков

Объем избыточного активного ила, образующегося на станциях, как правило, в 1,5÷2,5 раза превышает объем сырого осадка. Высокая влажность и большое содержание белков в иле обуславливают низкий выход газа при его анаэробном сбраживании. С экономической точки зрения значительно выгодней сбраживать в метантенках один сырой осадок, поэтому в последнее время все чаще прибегают к аэробной стабилизации активного ила.

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

Для более крупных станций возможно применение схемы, в которой избыточный активный ил подвергается аэробной стабилизации, а осадок сбраживается в метантенках.

Сочетание двух вариантов обработки осадков приводит к значительному сокращению объема метантенков и позволяет полностью обеспечить их теплом за счет сжигания образующегося газа. При соответствующем технико-экономическом обосновании аэробная стабилизация может быть применена и для обработки смеси активного ила и осадка.

Аэробная стабилизация осадков осуществляется в обычных аэротенках или в аэротенках, совмещенных с отстойниками. Процесс стабилизации активного ила длится 7÷10 суток. Для стабилизации смеси осадка и ила требуется 10÷12 суток. Низкая скорость процесса требует большего расхода воздуха, составляющего 150÷240 м³ на 1 м³ активного ила и 240÷430 м³ на 1 м³ смеси осадка и ила, поэтому при обработке больших расходов сточных вод аэробная стабилизация осадков не применяется.

Аэробная стабилизация обеспечивает гибель бактерий *Coli* более чем на 95 %, но яйца гельминтов при этом не погибают. Поэтому аэробно стабилизированные осадки необходимо обеззараживать. К числу несомненных достоинств аэробной стабилизации относятся возможность применения более простых по конструкции сооружений, чем метантенки, взрывобезопасность, отсутствие запахов. Осадок, стабилизированный в аэробных условиях, гораздо легче обезвоживается, чем анаэробно сброженный.

14.6. Иловые площадки

Наиболее простым и распространенным способом обезвоживания осадков является сушка их на иловых площадках с естественным основанием (с дренажем или без дренажа), с поверхностным отводом воды и на площадках-уплотнителях. Первые представляют собой спланированные участки земли (карты), окруженные со всех сторон земляными валиками. Сырой осадок из отстойников или сброженный из метантенков, двухъярусных отстойников либо других сооружений, имеющий влажность от 90 % (из двухъярусных отстойников) до 99,5 % (несброженный активный ил), периодически наливается небольшим слоем на участки и подсушивается до влажности 75÷80 %.

Влага из осадка частично просачивается в грунт, но большая часть ее удаляется за счет испарения. Объем осадка при этом уменьшается. Подсушенный осадок получает структуру влажной земли. Его можно брать на лопату и нагружать в вагонетки и самосвалы для транспортирования к месту использования.

Иловые площадки на естественном основании без дренажа применяют в тех случаях, когда почва обладает хорошей фильтрующей способностью (песок, супесь, легкий суглинок), уровень грунтовых вод находится на глубине не менее 1,5 м от поверхности карты, и просачивающиеся дренажные воды можно выпускать в грунт по санитарным условиям. При меньшей глубине залегания грунтовых вод предусматривают понижение их уровня.

Если грунт плотный, слабопроницаемый, площадки оборудуют трубчатым дренажем, уложенным в канавы, заполненные щебнем и гравием. Расстояние между дренажными канавами ре-

комендуется принимать равным $6 \div 8$ м, начальную глубину канавы – 0,6 м с уклоном 0,003. На малых очистных станциях в целях удобства эксплуатации ширину отдельных карт принимают не более 10 м. На средних и больших станциях ширина карт может быть увеличена до $35 \div 40$ м.

Размеры карт следует назначать с учетом размещения осадка, выпускаемого за один раз при толщине слоя летом $0,25 \div 0,3$ м и зимой 0,5 м. Карты отделяют друг от друга оградительными валиками, высоту которых принимают на 0,3 м выше рабочего уровня.

Осадок распределяется по картам с помощью труб или деревянных лотков, укладываемых по большей части в теле разделительного валика с уклоном $0,01 \div 0,03$ и снабжаемых выпусками.

Иловые площадки необходимо своевременно освобождать от подсушенного осадка. На малых очистных станциях осадок вручную погружают в машины и отвозят для использования его в качестве удобрения на ближайшие поля. Иногда на разделительных валиках укладывают узкоколейные пути для вагонеток, на которых транспортируют осадок за пределы площади и там выгружают в машины. В зимнее время замерзший осадок раскалывают специальными машинами на отдельные глыбы, которые вывозят затем на поля.

В районах со среднегодовой температурой воздуха $+3 \div 6$ °С и среднегодовым количеством атмосферных осадков до 500 мм для очистных сооружений пропускной способностью более 10000 м³/сутки рекомендуется устраивать иловые площадки с отстаиванием и поверхностным отводом иловой воды.

Объем отстаившейся иловой воды составляет $30 \div 50$ % объема обезвоживаемого осадка, влажность которого при этом снижается с 97 до $94 \div 95$ %. Дальнейшее обезвоживание осадка протекает за счет испарения влаги с поверхности осадка.

Полезную площадь одной карты принимают равной $0,25 \div 1$ га при отношении ширины к длине $1 : 2 \div 1 : 2,5$.

Нагрузку осадка на иловые площадки в районах со среднегодовой температурой воздуха $+3 \div 6$ °С включительно и среднегодовым количеством атмосферных осадков до 500 мм следует принимать по таблице 14.3; для районов с другой среднегодовой

температурой воздуха следует вводить соответствующие климатические коэффициенты.

Таблица 14.3 – Нагрузка на иловые площадки с естественным основанием

Характеристика осадка	Годовая нагрузка в м ³ /м ² на площадке	
	без дренажа	с дренажем
Несброженный осадок и активный ил	1,0	1,5
Сброженный осадок и активный ил	1,5	2,0
Сброженный осадок из первичных и двухрусных отстойников	2,5	3,5

При проектировании иловых площадок с поверхностным отводом иловой воды нагрузку принимают равной 1 м³/м² в год.

Высота слоя намораживания $h_{\text{нам}}$ зависит от климатических условий (в среднем она равна 0,5÷1 м):

$$h_{\text{нам}} = (W * t * k_2) / (S * k_1), \quad (14.5)$$

где W – суточный объем осадка, м³; S – полезная площадь иловых площадок, м²; t – период намораживания, сутки; k_1 – часть площади, отводимой под зимнее намораживание, обычно равная 0,75; k_2 – коэффициент, учитывающий уменьшение объема осадка вследствие зимней фильтрации и испарения, обычно равный 0,75.

Проведенными расчетами определяют рабочую (полезную) площадь иловых площадок. Дополнительная площадь, занимаемая валиками, дорогами, канавками и т. п., учитывается коэффициентом, значения которого колеблются от 1,2 (для больших станций) до 1,4 (для малых станций).

14.7. Механическое обезвоживание осадков

Сушка осадка на иловых площадках для современных крупных очистных станций не всегда оказывается возможной, так как требует больших площадей. С иловых площадок распространяется запах, кроме того, они содействуют выплоду мух. Поэтому для крупных станций необходимо применять более совершенные способы обезвоживания осадка, к числу которых, прежде всего,

относится механическое удаление влаги. Для механического обезвоживания осадка могут быть применены вакуум-фильтрация, центрифугирование и фильтрпрессование.

Вакуум-фильтрация. Из обезвоживающих аппаратов наибольшее распространение получили барабанные вакуум-фильтры, представляющие собой горизонтально расположенный барабан, боковая поверхность которого имеет перфорированную обечайку и обтянута сверху фильтровальной тканью. Обычно применяют капроновые ткани разных артикулов.

Внутренняя полость барабана продольными радиальными перегородками делится на несколько изолированных секторов – самостоятельных камер. Барабан вращается на валу, совершая один оборот за 4÷7 мин. На конце вала установлена распределительная головка фильтра, соединенная с вакуум-насосом и линией сжатого воздуха. Примерно на 1/3 диаметра барабан погружен в корыто, куда поступает подлежащий обезвоживанию осадок. При вращении барабана часть секций погружается в фильтруемый осадок. Через распределительную головку эти секции подключаются к линии вакуума, значение которого зависит от вида обезвоживаемого осадка и составляет 0,04÷0,067 МПа. Под действием вакуума осадок налипает на фильтровальную ткань. В этих же камерах (при выходе их из корыта), а также под действием вакуума происходит отделение воды от твердого вещества, т.е. собственно процесс обезвоживания осадка.

Фильтрат проходит через фильтровальную ткань внутрь секции барабана, откуда отводится в ресивер для отделения от воздуха. Затем фильтрат перекачивается на биологическую очистку, так как содержит 300÷600 мг/л взвешенных веществ и БПК его достигает 400÷600 мг/л.

Камеры соединяются с линией сжатого воздуха, который отделяет обезвоженный осадок, налипший на фильтровальную ткань.

Обезвоженный осадок влажностью 70÷80 %, снятый с поверхности барабана специальным ножом, поступает на транспортер, откуда его направляют на последующую сушку или к месту использования.

Таким образом, за один оборот барабана происходит непрерывное автоматическое чередование процессов образования кека, его обезвоживания, подсушки и снятия с поверхности барабана. Пропускная способность вакуум-фильтров в значительной мере зависит от удельного сопротивления осадка. По данным исследований, удельное сопротивление осадков колеблется в широких пределах:

- для смеси осадка и ила, сброженной в мезофильных условиях – от 520×10^{10} до 9140×10^{10} см/г;
- для термофильно сброженной смеси – от 3953×10^{10} до 9500×10^{10} см/г.

Считается, что устойчивая работа вакуум-фильтров может быть обеспечена, если удельное сопротивление смеси не превышает 60×10^{10} см/г.

Для снижения удельного сопротивления осадков перед обезвоживанием предварительно обрабатывают. Для сброженных осадков обычно применяют промывку с последующим уплотнением и обработку химическими реагентами. Для промывки сброженного осадка используют очищенную сточную воду.

Осадок и промывная вода перемешиваются в течение $6 \div 10$ мин сжатым воздухом, подаваемым в смеситель из расчета $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м^3 смеси. Далее смесь поступает в отстойник-уплотнитель, где находится $12 \div 18$ ч. Отстоявшаяся вода с концентрацией взвешенных веществ $500 \div 1500$ мг/л направляется в первичные отстойники, а уплотненный осадок – на дальнейшую обработку.

Промывка и уплотнение сброженной смеси осадка и активного ила позволяет снизить ее влажность с $97 \div 97,5$ % приблизительно до 95 %. Промывкой, кроме того, достигается удаление из осадков части коллоидных веществ и самой мелкой фракции, затрудняющей фильтрацию и засоряющей ткань фильтра, а также снижение щелочности осадка, что позволяет несколько уменьшить расход химических реагентов.

К промытому и уплотненному осадку последовательно добавляют реагенты: 10 %-ный раствор FeCl_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в виде 10 %-ного известкового молока. В присутствии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ гидролиз хлорида железа идет до конца и образуются хлопья $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ча-

стицы осадка объединяются хлопьями гидроксида железа в достаточно крупные агрегаты. Инертная часть извести играет роль присадочного материала. В результате такой обработки удельное сопротивление осадка значительно снижается и осадок легче отдает воду.

Дозы реагентов рассчитывают в процентах на сухое вещество в зависимости от характера осадка, подлежащего обезвоживанию. Реагенты вводятся непосредственно перед подачей осадка на вакуум-фильтрацию, так как хранение обработанного осадка, а также перекачивание насосами ухудшают его водоотдачу.

Большой расход и высокая стоимость химических реагентов, трудности в их приготовлении и дозировании, коррозия трубопроводов и оборудования при применении хлорного железа – все это требует поисков более простых и эффективных методов подготовки осадков к обезвоживанию. К числу таких методов относятся термические приемы воздействия на физико-химические свойства осадка.

Получила распространение тепловая обработка осадка перед обезвоживанием. Сущность метода состоит в прогревании осадков при температуре $+140 \div 200$ °С и соответствующем давлении.

Осадок после нагревания в теплообменнике подается в реактор, где прогревается при определенной температуре в течение заданного времени. Обработанный осадок возвращается в теплообменник, где отдает свое тепло поступающему осадку и охлаждается до $+30 \div 40$ °С.

После отстаивания в уплотнителе осадок без какой-либо дополнительной обработки обезвоживается на вакуум-фильтре.

Установлено, что температурный режим и продолжительность обработки зависят от характера обрабатываемого осадка. В частности, для уплотненного активного ила необходимо прогревание его при температуре $+185 \div 196$ °С в течение $60 \div 75$ мин. При тепловой обработке часть органических веществ разрушается и продукты распада переходят в газ и в иловую воду. Вследствие изменения физико-химических свойств осадков резко увеличивается их способность к влагоотдаче. Только гравитационное уплотнение позволяет удалить до 75 % первоначально содержащейся в осадке воды.

Одним из существенных достоинств этого метода является полная стерильность обработанного осадка. Кроме того, при обезвоживании таких осадков на вакуум-фильтрах образуется кека более низкой влажности (55÷70 %), что позволяет исключить термическую сушку осадка. Осадок после обезвоживания может складироваться на открытых площадках.

К числу недостатков метода относятся сложность конструктивного оформления и высокая концентрация (БПК до 7000 мг/л) органических веществ в иловой воде, которую поэтому необходимо направлять на биологическую очистку. Однако значительное упрощение схемы обработки осадков (возможность исключения метантенков, отказ от промывки и реагентной обработки осадка) позволяет считать этот метод весьма перспективным.

Центрифугирование. Начиная с 50-х годов прошлого века на зарубежных очистных станциях для обезвоживания осадков широко применяют непрерывно действующие осадительные центрифуги. Метод центрифугирования начинают использовать и в практике Кыргызстана. Для обезвоживания осадков применяют горизонтальные осадительные центрифуги со шнековым устройством для выгрузки осадка типа НОГШ.

Основными элементами ее являются конический ротор со сплошными стенками и полый шнек. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежной силы частички твердой фазы отбрасываются к стенкам ротора и вследствие разности частоты вращения ротора и шнека перемещаются к отверстию в роторе, через которое обезвоженный осадок попадает в бункер кека.

Образовавшаяся в результате осаждения твердых частиц жидкая фаза (фугат) отводится через отверстия, расположенные с противоположной стороны ротора. Эффективность задержания твердой фазы осадков и влажность кека зависят от характера обезвоживаемого осадка (при обработке городских сточных вод более половины твердой фазы выносятся с фугатом).

Низкое качество фугата и необходимость его дальнейшей обработки являются основным недостатком метода центрифугирования.

Наибольшее содержание взвешенных веществ остается в фугате при центрифугировании активного ила. Проведенными ис-

следованиями предложена схема обработки активного ила, по которой ил из вторичных отстойников подвергается центрифугированию, а образующийся фугат направляется в аэротенки вместо циркуляционного активного ила или в смеси с ним. Использование фугата в качестве возвратного активного ила не ухудшает качества очистки сточных вод по сравнению с обычным вариантом и позволяет исключить из схемы уплотнение активного ила.

Фугат после центрифугирования сброженного осадка направляют на иловые площадки. Пропускная способность серийно выпускаемых центрифуг НОГШ не превышает 13 м³/ч по исходному осадку, поэтому они могут быть рекомендованы для применения на станциях с расходом сточных вод не более 40000 м³/сутки (таблица 14.4).

Таблица 14.4 – Эффективность задержания сухого вещества и влажность осадка, обезвоженного на центрифугах типа НОГШ

Осадок	Э, %	W _к , %
Сырой или сброженный осадок из первичных отстойников	45÷65	65÷75
Сброженная смесь осадка и активного ила	25÷40	65÷75
Сырой активный ил при зольности, %:		
28÷35	10÷15	70÷80
38÷42	15÷25	65÷75
44÷47	25÷35	50÷70

Фильтрпрессование. Промышленностью России серийно выпускается автоматизированный фильтрпресс с горизонтальными камерами ФПАКМ. Фильтр состоит из нескольких фильтровальных плит и фильтрующей ткани, протянутой между ними с помощью направляющих роликов. Поддерживающие плиты связаны между собой четырьмя вертикальными опорами, воспринимающими нагрузку от давления внутри фильтровальных плит. В натянутом состоянии ткань поддерживается с помощью гидравлических устройств.

Каждая фильтровальная плита состоит из верхней и нижней части. Верхняя часть перекрыта перфорированным листом, под

которым находится камера для приема фильтрата. На перфорированном листе размещена фильтровальная ткань. Нижняя часть плиты представляет собой раму, которая при сжатии плит образует камеру, куда подается осадок. Между верхней и нижней частью фильтровальных плит расположены эластичные водонепроницаемые диафрагмы.

Перед обезвоживанием предусмотрена обработка осадка химическими реагентами – 10 %-ным раствором FeCl_3 и известковым молоком. В расчете на сухое вещество осадка доза FeCl_3 принимается равной 5 %, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 20 %. Обезвоживание осадка на фильтрпрессах позволяет получить кек влажностью 70÷75 %. При этом концентрация взвешенных веществ в фильтрате достаточно высока и составляет 1000÷1300 мг/л. Пропускная способность фильтрпресса по сухому веществу осадка равняется 20÷25 кг/ч на 1 м² площади фильтрования при давлении прессования 0,2 МПа.

14.8. Термическая обработка осадков

Термическая обработка осадков позволяет в несколько раз снизить массу и объем осадка, получить сухой сыпучий продукт, полностью освобожденный от патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. Осадки после термической обработки, в зависимости от их состава, могут быть использованы как органо-минеральное удобрение либо в качестве кормовой добавки к рациону некоторых животных, либо как присадочный материал при обезвоживании и сушке осадка, а также в качестве твердого топлива.

Термическая сушка обезвоженного осадка. Для термической сушки осадка применяют сушилки различных конструкций: барабанные, ленточные, пневматические, вальцовые, сушилки со взвешенным слоем. Во всех типах сушилок, кроме вальцовой, использован конвективный способ сушки, при котором тепловая энергия, необходимая для испарения влаги, непосредственно передается от теплоносителя осадку. В качестве теплоносителя или сушильного агента чаще всего используются топочные газы с температурой от +500 до +800 °С.

Применение высокотемпературного теплоносителя позволяет сократить габариты сушильных установок. Для сушки обезво-

женных осадков городских очистных сооружений наибольшее распространение получили барабанные сушилки с прямоточным движением осадка и топочных газов.

Сушильный агрегат состоит из топки, сушильной камеры (барабана) и вентиляционного устройства. Осадок поступает в барабан через загрузочную камеру и удаляется из него через выгрузочную камеру. Сушильный барабан устанавливают с углом наклона к горизонту $3\div 4^\circ$. Частота вращения барабана $1,5\div 9 \text{ мин}^{-1}$. Наклон барабана и его вращение обеспечивают движение материала под действием силы тяжести от загрузочной камеры к выгрузочной.

Для измельчения осадка в начале и конце барабана подвешиваются корабельные цепи. В средней части сушилки устанавливаются лопастные, секторные или винтовые насадки, обеспечивающие перемешивание осадка и равномерное распределение его по сечению барабана. Цепи и насадки интенсифицируют процесс сушки, обеспечивая большую площадь поверхности контакта между осадком и сушильным агентом. Осадок сушится проходящими через сушилку топочными газами, получаемыми в результате сжигания газа в топке. При сжигании газа в топку подается избыточный объем воздуха. Движение топочных газов создается дутьевым и отсасывающим вентиляторами. Размеры барабана сушилок, выпускаемых отечественными заводами, приведены в таблице 14.5.

Таблица 14.5 – Основные размеры барабанных сушилок

Завод-изготовитель	Диаметр барабана, м	Длина барабана, м
Завод «Прогресс», г. Бердичев	1,0	4
		6
	2,2	10
		12
		14
		16
Завод «Уралхиммаш»	2,5	14
		20
	3,5	27

Основными недостатками барабанных сушилок являются их громоздкость и большая металлоемкость, высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

Начиная с 2000 года широко применяются сушилки со взвешенным слоем. В зависимости от гидродинамического режима сушки различают аппараты с кипящим и фонтанирующим слоем.

Термическая сушка жидких осадков. Такой вариант обработки осадков требует большого расхода тепла на испарение влаги, что влечет за собой увеличение эксплуатационных расходов. Однако применение этого метода может быть оправдано только в отдельных случаях для сушки небольших объемов осадков, например для подготовки активного ила к использованию в качестве кормовой добавки к рациону сельскохозяйственных животных.

Технология обработки ила для получения сухого кормового продукта должна обеспечить сохранность белково-витаминного комплекса, а также полную санитарную безопасность продукта.

Этим требованиям удовлетворяют распылительные сушилки и сушилки со взвешенным слоем. Сушилки обоих типов при работе в «мягком» режиме, т. е. при температуре теплоносителя не более +250 °С, позволяют быстро обрабатывать термолабильные материалы, сохраняя их питательную ценность. В распылительных сушилках из высушиваемой суспензии образуется тонкодисперсное облако. Соприкасаясь с нагретым газом, вода мгновенно испаряется, а высушенный продукт вместе с потоком сушильного агента направляется в циклон для разделения.

Недостатком распылительных сушилок является их громоздкость и низкое напряжение сушильной камеры по влаге, которое, при сушке уплотненного активного ила не превышало 9,7 кг/м³.

Сжигание осадков. Для сжигания осадков в США, ФРГ и Японии применяют многоподовые печи, в ряде стран (Франция, Швейцария, США, ФРГ, Япония) для этой цели используют реакторы с кипящим слоем.

Корпус печи выполнен в виде стального цилиндра диаметром 1÷7 м, внутренняя поверхность которого футерована огнеупорным материалом. Печь имеет от 4 до 11 горизонтальных огнеупорных подов, расположенных один под другим. К вертикальному вращающемуся валу над каждым подом прикреплены ради-

альные скребковые мешалки. Осадок подается через загрузочное устройство на верхний под, перемешивается мешалками, сдвигается ими к центральному отверстию пода и попадает на нижележащий под. Перемещение осадка по этому поду идет в противоположном направлении.

На следующий под осадок попадает через кольцевое отверстие, расположенное по периферии пода. На верхних подах происходит сушка осадка, в результате которой влажность его с 70÷80 % снижается до 40÷50 %.

В средней зоне печи при подаче избыточного (до 50 %) объема воздуха, а при необходимости и топлива происходит сгорание осадка. Температура в этой зоне достигает +770÷925 °С. Воздух нагнетается воздуходувкой через вал, благодаря чему последний предохраняется от перегрева. По рециркуляционному трубопроводу нагретый примерно до +200 °С воздух возвращается в зону сгорания. Такая циркуляция воздуха исключает необходимость его подогрева.

На нижних подах образовавшаяся при сгорании осадка зола охлаждается и через выгрузочное отверстие выпускается в зольный бункер. Отработанный газ с температурой +370÷425 °С после очистки в мокрых скрубберах выбрасывается в атмосферу.

Многоподовые печи надежны в эксплуатации и просты по конструкции. К числу их недостатков следует отнести высокую строительную стоимость и большие размеры.

15. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

15.1. Методы почвенной очистки сточных вод

Методы почвенной очистки сточных вод основаны на способности самоочищения почвы. Осуществляется такая очистка на полях орошения или на полях фильтрации.

Полями орошения называются специально подготовленные и спланированные земельные участки, предназначенные для очистки сточных вод и для выращивания на них сельскохозяйственных культур.

Если земельные участки предназначаются только для очистки сточных вод, они носят название полей фильтрации.

Очистка сточных вод в обоих случаях происходит в результате совокупности сложных физико-химических и биологических процессов. Сущность процесса очистки состоит в том, что при фильтрации сточных вод через почву в верхнем ее слое задерживаются взвешенные и коллоидные вещества, образующие на поверхности частичек почвы густозаселенную микроорганизмами пленку. Эта пленка адсорбирует на своей поверхности растворенные органические вещества, находящиеся в сточных водах.

Используя кислород, проникающий из атмосферы в поры почвы, микроорганизмы переводят органические вещества в минеральные соединения. Таким образом, наличие кислорода является необходимым условием нормального хода процесса. Так как с точки зрения кислородного режима верхние слои почвы (0,2÷0,3 м) находятся в более благоприятных условиях, то именно в этих слоях и происходят наиболее интенсивное окисление органических веществ и процесс нитрификации.

По мере углубления количество кислорода в почве быстро уменьшается и, наконец, наступает зона анаэробнозона, где окисление органических веществ, проникающих сюда в виде растворов, происходит только за счет процесса денитрификации, так как в зону анаэробнозона сточные воды попадают с большим запасом нитритов.

Отсюда вытекают требования, которые предъявляются к отводимой под поля орошения или фильтрации территории, к свойствам грунтов, а также к качеству и объему сточной воды, которая может быть очищена на 1 га площади полей.

Почвенная очистка, в частности использование сточных вод для целей орошения, известна с древних времен. Особенно широкое применение она получила с середины XIX в., когда с развитием промышленности и ростом городов увеличился объем подлежащих удалению с их территории сточных вод. Значительные площади, требуемые для полей орошения в связи с непрерывным увеличением объема сточных вод, и дороговизна пригородных земельных участков заставили в конце XIX – начале XX в. разработать искусственные методы очистки, не требующие больших площадей земли.

Степень очистки сточных вод на полях орошения и полях фильтрации значительно снижается в зимнее время в силу замедления и даже прекращения биологических процессов при низких температурах. В этот период поля всех видов работают преимущественно как накопители, задерживая в почве сточные воды и находящиеся в них вещества путем поверхностного намораживания.

Однако в последующем при увеличении объема сточных вод эти поля орошения были переведены на режим полей фильтрации, а в дальнейшем для большей части стоков заменены сооружениями искусственной биологической очистки.

При выборе метода очистки сточных вод и местоположения очистных сооружений необходимо в первую очередь выявлять возможность использования сточных вод для сельского хозяйства и, лишь когда это не представляется целесообразным (по местным условиям, санитарным требованиям или технико-экономическим соображениям), следует осуществлять биологическую очистку в искусственных условиях.

Как уже указывалось, при устройстве полей орошения преследуют две цели:

- а) санитарную – очистка сточных вод;
- б) сельскохозяйственную – использование сточных вод как источника влаги, а содержащихся в ней веществ как удобрения.

Различают следующие виды полей орошения:

1. Коммунальные поля орошения, главной задачей которых является очистка сточных вод, а использование для сельскохозяйственных целей играет вспомогательную роль. В связи с этим коммунальные поля орошения получают максимально допустимые по условиям выращивания сельскохозяйственных культур нагрузки сточных вод. Эксплуатация полей этого типа находится в ведении коммунальных органов.

2. Сельскохозяйственные поля орошения, на которых использование сточных вод для сельского хозяйства и их очистка представляют единое целое. Поля этого типа устраивают на сельскохозяйственных землях без изъятия их у землепользователей и оставляют в ведении последних. Сточные воды подаются на поля вне зависимости от времени года и метеорологических условий. Сельскохозяйственные поля орошения устраивают в различных климатических районах, за исключением северных. Эти поля отличаются небольшой ($5\div 20$ м³/га) суточной нагрузкой сточных вод. Для устройства их не требуется предварительной горизонтальной планировки орошаемых участков (можно ограничиться только выравниванием микрорельефа), что расширяет область их применения.

Однако применение таких полей носит пока ограниченный характер в связи с рядом серьезных организационных затруднений, возникающих при их эксплуатации.

Как уже сказано, бытовые сточные воды содержат значительное число патогенных бактерий и яиц гельминтов. Поэтому при устройстве и эксплуатации полей орошения любого типа должны соблюдаться определенные санитарные требования. В частности, запрещается орошать неочищенными сточными водами поля при выращивании на них овощей, употребляемых в пищу в сыром виде.

Предварительное отстаивание сточной воды обеспечивает выделение из нее $50\div 60$ % общего числа бактерий вместе с крупными взвешенными веществами в осадок; таким образом, отстоянная сточная вода в бактериальном отношении менее опасна.

Путем искусственной биологической очистки сточных вод можно снизить число бактерий на $90\div 95$ %; санитарная опасность при орошении такой водой относительно невелика.

Серьезным вопросом является распространение через овощи глистных заболеваний. Яйца гельминтов (глисты, паразитные черви и др.), попадая в почву и на овощи, сохраняют жизнеспособность длительное время. Особенно устойчивы яйца аскарид. Отстаивание сточных вод позволяет снизить содержание яиц гельминтов на 50÷60 %, а в горизонтальных отстойниках при скорости течения 1 мм/с – на 95 %.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о довольно сильном загрязнении почвы патогенными микроорганизмами и яйцами гельминтов при орошении неочищенными сточными водами.

Поэтому во всех случаях использования сточных вод в целях орошения необходимо предварительно их отстаивать и обрабатывать получаемый осадок при высоких температурах (+50÷55 °С).

Концентрация питательных элементов (азота, фосфора и калия) в бытовых сточных водах зависит от нормы водоотведения. В них содержится 15÷60 мг/л азота, 3÷12 мг/л фосфора, 6÷25 мг/л калия. Эти питательные элементы находятся главным образом в растворенном состоянии и частично во взвешенном. Так, растворенный азот составляет 85 %, а 15 % его находится во взвешенном состоянии; фосфор – соответственно 60 и 40 %; калий – 95 и 5 %.

Соотношение между основными элементами питания растений азотом, фосфором и калием, содержащимися в сточных водах, составляет 5:1:2, тогда как в навозе это соотношение 2:1:2. Таким образом, сточные воды являются удобрением с повышенным содержанием азота, способствующего развитию растений.

Для орошения могут быть использованы также производственные сточные воды, которые не содержат ядовитых веществ в объемах, вредно влияющих на рост растений. Общее содержание солей не должно превышать 3÷4 г/л, в том числе питательных солей – 1÷1,5 г/л. При большем содержании солей в сточных водах требуется их специальная подготовка (разбавление, нейтрализация и т. д.).

Определение размеров полей орошения и полей фильтрации. Общая площадь, требуемая для устройства полей орошения и полей фильтрации, складывается из полезной (орошаемой) площади и дополнительной, необходимой для устройства оградительных

валиков, разводящих и осушительных канав, дорог и усадеб, а также запасных (резервных) участков на периоды, когда орошение не производится. Полную расчетную площадь полей орошения определяют уравнением:

$$\omega = \omega_{\text{пол}} + \omega_{\text{р}} + k * (\omega_{\text{пол}} + \omega_{\text{р}}), \quad (15.1)$$

где $\omega_{\text{пол}}$ – полезная площадь полей; $\omega_{\text{р}}$ – резервная площадь полей; k – коэффициент, учитывающий увеличение площади за счет устройства вспомогательных сооружений и равный $0,15 \div 0,25$.

При резко выраженном рельефе территории полей (уклоны $0,02 \div 0,06$), когда соседние карты имеют различные отметки, дополнительная площадь может возрасти до 50 % полезной.

Полезную площадь находят по формуле:

$$\omega_{\text{пол}} = Q / q_0, \quad (15.2)$$

где Q – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сутки}$; q_0 – нагрузка сточных вод на поля орошения, $\text{м}^3/(\text{га} * \text{сутки})$.

В некоторые периоды года выпуск на поля орошения сточной воды не допускается. Например, в весенний период, когда большинство участков полей орошения готовят к летнему вегетационному периоду; в осенний период, когда убирают урожай и готовят поля к зимнему орошению, а также в периоды дождей.

Для приема сточных вод в это время служат резервные, не занимаемые под культуры участки, выполняющие роль обычных полей фильтрации.

Площадь резервных участков следует определять так же, как при расчете полей фильтрации. Для предварительных подсчетов резервную площадь полей орошения принимают не более 25 % полезной. Объем сточных вод, поступающих на резервные участки, составляет часть всего объема воды, подаваемой на поля орошения, и оценивается коэффициентом a , значения которого тем меньше, чем выше средняя годовая температура в районе полей орошения, и чем разнообразнее выращиваемые на полях сельскохозяйственные культуры.

Для районов со среднегодовой температурой воздуха до $+5^\circ\text{C}$ принимают $a = 1$; до $+10^\circ\text{C}$ – $a = 0,75$; до $+15^\circ\text{C}$ – $a = 0,5$. Таким образом, необходимая площадь резервных полей фильтрации может быть выражена уравнением:

$$\omega_p = (a * Q) / q_{\phi} = (a * \omega_{\text{пол}} * q_0) / q_{\phi} , \quad (15.3)$$

где Q – расход очищаемой сточной воды, м³/сутки; $\omega_{\text{пол}}$ – полезная площадь полей, га; q_0 – расчетная норма нагрузки на поля, м³/(га*сутки); q_{ϕ} – расчетная норма нагрузки на резервные фильтрационные участки полей, м³/(га*сутки).

При $q_0/q_{\phi} = 0,3$ и $a = 0,5$ резервная площадь составляет 15 % полезной площади полей орошения, а при $q_0/q_{\phi} = 0,5$ и $a = 1,0$ эта площадь будет равна 50 %.

В зимнее время после промерзания почвы фильтрация сточной воды практически прекращается и происходит постепенное намораживание части поступающей сточной воды; часть же ее профильтровывается (в особенности в начале зимы), а часть испаряется (вымерзает). Поэтому поля фильтрации необходимо проверять на намораживание. Величина зимней фильтрации определяется коэффициентом β , зависящим от фильтрационной способности грунтов:

для легких суглинков – $\beta = 0,3$;

супеси – $\beta = 0,45$;

песков – $\beta = 0,55$.

Требуемая для намораживания площадь может быть вычислена по формуле:

$$\omega_z = ((Q * t_{\text{нам}}) * (1 - \beta)) / (h_{\text{нам}} - h_0) * \rho \quad (15.4)$$

или

$$h_{\text{нам}} = ((Q * t_{\text{нам}}) * (1 - \beta)) / (\omega_z * \rho) + h_0 , \quad (15.5)$$

где Q – расход сточной воды, м³/сутки; $t_{\text{нам}}$ – продолжительность намораживания, дни; h_0 – слой зимних осадков, м; ρ – плотность льда, равная 0,9 т/м³.

Продолжительность периода зимнего намораживания обычно принимают по числу дней со среднесуточной температурой воздуха ниже -10 °С; высоту слоя намораживания принимают $0,5 \div 0,6$ м, во всяком случае не более 1 м. Уровень намороженного слоя должен быть на 0,05 м ниже дна канала, разводящего сточные воды.

В целях удлинения периода фильтрации и сокращения зимнего намораживания применяют так называемую подледную фильтрацию. Для этого на зимних участках нарезают глубокие

борозды, заполняемые водой. В сильный мороз на них образуется ледяная корка, под которой долгое время (иногда всю зиму) происходит фильтрация подаваемых на поля сточных вод.

На полях фильтрации необходимо выделять свободные от намораживания участки, способные принять сточные воды в период оттаивания намороженного слоя, просачивания талой воды и просушки участков, что может продлиться один-два месяца.

При больших нагрузках и для полей в районах с длительным зимним периодом необходимая для летних условий площадь полей может быть недостаточна для размещения на ней всей массы сточных вод в зимний период. В этом случае приходится допускать большую высоту слоя намораживания или увеличивать общую площадь полей, предусматривая дополнительные резервные участки, площадь которых не должна превышать в южных районах 10 %, в средней полосе 20 % и в северных районах 25 % полезной площади полей фильтрации.

Для ускорения ввода в эксплуатацию полей после зимы допускается сброс талой воды с участков непосредственно в осушительные каналы в период весеннего паводка.

Способ определения размеров полей орошения по среднесуточной нагрузке пригоден только для предварительных расчетов, так как он не учитывает основных особенностей эксплуатации полей – виды выращиваемых культур и потребность их в воде.

15.2. Биологические пруды

Биологические пруды представляют собой искусственно созданные водоемы для биологической очистки сточных вод, основанной на процессах, которые происходят при самоочищении водоемов. При отсутствии хорошо фильтрующих почв для устройства полей фильтрации или полей орошения пруды могут быть использованы как самостоятельные сооружения для очистки сточных вод, а также для их доочистки в сочетании с другими очистными сооружениями.

Пруды делают небольшой глубины – от 0,5 до 1 м. Это позволяет создать значительную поверхность соприкосновения воды с воздухом и обеспечить прогрев всей толщи воды и хорошее ее

перемешивание. Таким образом, создаются благоприятные условия для массового развития водных организмов, в частности планктонных водорослей, которые ассимилируют биогенные элементы и в результате процесса синтеза обогащают воду кислородом, необходимым при окислении органических веществ.

Биологические пруды обеспечивают более высокий эффект бактериального самоочищения, чем сооружения искусственной биологической очистки. Так, число кишечных палочек в прудах снижается на 95,9÷99,9 % начального содержания. Содержание яиц гельминтов в воде, прошедшей биологические пруды, ничтожно мало.

Напуск сточной воды и отвод очищенных вод из прудов производится рассредоточенно. Для возможности полного опорожнения прудов дну их должен быть придан небольшой уклон по направлению к водосливным сооружениям.

Нормальная эксплуатация прудов происходит в теплое время, и уже при температуре воды ниже +6 °С резко ухудшается. При дальнейшем понижении температуры и особенно после образования ледяного покрова, когда проникания кислорода в воду не происходит, процесс окисления органического вещества почти полностью прекращается. В этот период может происходить лишь намораживание сточной воды.

Биологические пруды рассчитывают обычно по нагрузке на поверхность в зависимости от концентрации загрязнений и температурных условий. Различают следующие виды биологических прудов:

- 1) пруды с разбавлением (рыбоводные);
- 2) пруды без разбавления (многоступенчатые или серийные);
- 3) пруды для доочистки сточных вод.

В первом случае сточные воды после предварительного осветления в отстойниках смешивают со свежей речной водой в пропорциях 1:3÷1:5 и направляют в одноступенчатые проточные пруды, где идет процесс окисления органического вещества. Нагрузка сточной воды составляет 125÷300 м³/(га*сутки). Размер каждого пруда 0,5÷7 га. Продолжительность пребывания воды (с учетом разбавления) 8÷12 дней. В прудах можно разводить рыбу.

Во втором случае сточные воды после предварительного отстаивания направляют в пруд без разбавления чистой водой. Такие биологические пруды впервые были устроены по инициативе проф. С.Н. Строганова на московских полях фильтрации. Продолжительность очистки сточной воды в прудах этого типа больше, чем в прудах первого типа; обмен воды происходит за срок до 30 дней. Нагрузка сточной воды примерно такая же, как и в прудах с разбавлением ($125 \div 150 \text{ м}^3/(\text{га} \cdot \text{сутки})$).

Для того чтобы обеспечить надлежащую очистку воды, пруды без разбавления устраивают в 4÷5 ступеней (серийные пруды), которые вода проходит последовательно. Степень чистоты воды с каждой последующей ступенью постепенно повышается. Пруды каждой ступени обычно имеют площадь $2 \div 2,5$ га. Нижние ступени серийных биологических прудов без разбавления могут быть использованы для разведения рыб.

При устройстве биологических прудов более полно используются земельные участки, чем при сооружении полей орошения или полей фильтрации. Кроме того, пруды могут быть устроены на таких почвах, которые непригодны для полей.

Сточные воды, прошедшие биологические пруды, могут быть использованы для орошения. В этом случае могут применяться поливочные машины, лиманное орошение, длинные борозды, дождевание, подпочвенное орошение.

При необходимости по местным условиям повышенной очистки сточных вод для их доочистки (после искусственных очистных сооружений) рекомендуется устраивать биологические пруды третьего вида. Число ступеней в таких прудах должно быть: при поступлении в них биологически очищенных сточных вод – $2 \div 3$ ступени, при поступлении отстоенных сточных вод – $4 \div 5$ ступеней. Нагрузку на пруды следует принимать с учетом их reaэрации, которая дает $6 \div 7$ г кислорода на 1 м^2 пруда. Этого достаточно, для того чтобы обеспечить очистку $100 \div 250 \text{ м}^3/(\text{га} \cdot \text{сутки})$ отстоенных сточных вод (без разбавления) или $4000 \div 5000 \text{ м}^3/(\text{га} \cdot \text{сутки})$ биологически очищенных сточных вод.

Пруды, предназначенные для доочистки сточных вод, могут быть использованы также и для рыборазведения. В этих случаях

должно быть предусмотрено устройство дополнительных малых прудов глубиной не менее 2,5 м для пребывания в них рыбы в зимнее время.

В последнее время для очистки сточных вод получают распространение пруды с фотосинтезирующими организмами фитопланктона, в частности с водорослью хлорелла.

16. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ИСКУССТВЕННО СОЗДАННЫХ УСЛОВИЯХ

Метод биологической очистки сточных вод основан на способности микроорганизмов использовать разнообразные вещества, содержащиеся в сточных водах, в качестве источника питания в процессе жизнедеятельности. Таким образом, искусственно культивируемые микроорганизмы освобождают воду от загрязнений, а метаболизм этих загрязнений в клетках микроорганизмов обеспечивает их энергетические потребности, прирост биомассы и восстановление распавшихся веществ клетки.

Биологическим путем могут обрабатываться очень многие сложные и разнообразные органические вещества. Переработке подвергаются также некоторые неокисленные неорганические соединения – сероводород, аммиак, нитриты и т. п. Однако в сточных водах присутствуют и такие вещества, которые биологическим путем не окисляются или окисляются настолько медленно, что практически завершение процесса оказывается недостижимым. К группе биологически неокисляемых веществ относятся многие углеводороды, некоторые сложные эфиры, ряд «жестких» синтетических поверхностно-активных веществ, красители и другие вещества.

Микроорганизмы культивируют как в аэробных, так и в анаэробных условиях.

Если окисление проводится достаточно долго, то после использования исходного органического вещества начинается процесс окисления клеточного вещества бактерий. Когда вода очищена и экзогенный (внешний) источник органического углерода исчерпан, наступают благоприятные условия для развития автотрофных культур.

При наличии в воде достаточной концентрации растворенного кислорода в среде развиваются автотрофы – нитрификаторы, которые проводят биологическое окисление аммонийного азота сначала до нитритного, а затем и до нитратного.

Для нормального процесса синтеза клеточного вещества, а следовательно, и для эффективного процесса очистки воды в среде должна быть достаточная концентрация всех основных элементов питания - органического углерода (БПК), азота, фосфора. Кроме основных элементов состава клетки (С, N, O, H) для ее построения необходимы также и другие элементы в очень незначительной массе. К ним относятся калий, кальций, магний, сера, железо, марганец и др. Содержание этих элементов в природных водах обычно бывает достаточным, чтобы полностью удовлетворить требованиям бактериального метаболизма.

Азота и фосфора часто не хватает и их приходится добавлять искусственно, обычно в виде одно- и двузамещенных фосфатов калия и хлорида аммония. Это в большей степени относится к производственным сточным водам и в меньшей – к городским, потому что в физиологических выделениях людей содержится много белкового азота и, кроме того, мочевины полностью гидролизуются до аммиака и оксида углерода.

Считается, что в процессе очистки сточных вод бактериями преимущественно используется аммонийный азот, но если его недостаточно, то его с успехом может заменить белковый азот. Достаточность элементов питания для бактерий в сточных водах определяется соотношением $\text{БПК}_{\text{полн}} : \text{N} : \text{P}$ (азот аммонийных солей и фосфор в виде растворенных фосфатов). В каждом конкретном случае это соотношение индивидуально, так как оно определяется составом продуцируемых клеток, который, в свою очередь, зависит от состава очищаемой воды. Согласно рекомендациям СНИП, при обработке городских сточных вод используется соотношение $\text{БПК}_{\text{полн}} : \text{N} : \text{P} = 100:5: 1$.

Белковый азот в результате аммонификации разлагается до аммонийного, который и используется при очистке сточных вод в качестве источника азота. Под БПК здесь понимается наличие в воде источника углеродного питания клеток. Наиболее интенсивно азот используется в период логарифмической фазы роста клеток, а в период окисления клеток азот высвобождается вновь в виде аммиака. Выделившийся аммонийный азот может окисляться до нитритов и нитратов либо повторно использоваться для нового цикла синтеза.

Вступая в общий круговорот азота, нитриты и нитраты могут выполнять две функции – служить источником кислорода в анаэробных условиях и быть источником азота, например при биосинтезе водорослей. Подсчитано, что 1 мг азота нитратов продуцирует в водоеме 10 мг водорослей. Вот почему во избежание интенсивного зарастания водоемов в них не следует выпускать сточные воды, содержащие большие концентрации нитритов и нитратов. Если же последние получаются при биоокислении и оправданы требованиями технологического процесса, то вслед за сооружениями-окислителями следует предусмотреть сооружения-денитрификаторы для разложения окисленных форм азота до азота молекулярного.

Потеря азота (в виде молекулярного он уходит в атмосферу) – явление, нежелательное для биосферы, и в будущем, по-видимому, должны быть найдены иные пути использования нитритов и нитратов. Денитрификация – процесс сложный, многостадийный и может протекать по разным схемам в зависимости от условий среды. Конечными продуктами распада могут быть либо молекулярный азот, либо аммиак, либо оксиды азота, но применительно к сточным водам денитрификация проходит, как правило, до молекулярного азота.

Биологическую очистку называют полной, если БПК_{полн} очищенной воды составляет менее 20 мг/л, и неполной при БПК_{полн} более 20 мг/л. Такое определение является условным, так как и при полной биологической очистке происходит лишь частичное освобождение воды от суммы находящихся в ней примесей.

В свою очередь, полную биологическую очистку можно подразделить на две категории: с нитрификацией азота аммонийных солей и без нее. Процесс нитрификации проходит одновременно с окислением клеточного вещества бактерий, поэтому вариант полной биологической очистки с нитрификацией называют еще процессом очистки с минерализацией активного ила или длительным процессом очистки.

Органические загрязнения находятся в сточных водах в растворенном, коллоидном и нерастворенном состоянии. Ряд микроорганизмов и, в частности бактерии, вирусы, дрожжи, плесени, могут использовать питательные вещества лишь в виде относи-

тельно небольших молекул в водном растворе. Крупные частицы загрязнений перерабатываются бактериями первоначально вне клетки. Бактерии выделяют во внешнюю среду в значительных количествах пищеварительные ферменты, где они контактируют с крупными частицами веществ и осуществляют гидролитический распад сложных органических веществ до более простых, небольших по размеру молекул, которые затем проходят через оболочку клетки и поступают в протопласт.

Практически все химические преобразования от начала процесса усвоения в живом веществе осуществляются с помощью ферментов, каталитическая функция которых лежит в основе жизнедеятельности любого организма.

В настоящее время выделено и изучено несколько сотен ферментов. Каждый фермент ускоряет, как правило, один единственный тип химической реакции, независимо от того, какие конкретно вещества взаимодействуют. Особым отличительным свойством фермента является строгая специфичность действия.

Ферменты обладают исключительно высокой каталитической активностью, проявляемой в мягких условиях – при нормальных температуре и давлении. Процесс ферментативного катализа благодаря уникальной структуре каждого фермента предстает как серия элементарных превращений вещества, строжайшим образом организованных в пространстве и времени. Механизм биокатализа отличают кооперативность и жесткая запрограммированность этапов действия.

В практике очистки сточных вод для характеристики напряженности окисления применяют определение дегидрогеназной активности микроорганизмов. Процесс биологического окисления состоит из множества ступеней, и начинается с расщепления органического вещества с выделением активного водорода. Этот вид окисления называется непрямой. Водород передается ферментами дегидрогеназами на цитохромную систему дыхательной цепи ферментов, где соединяется с кислородом, образуя воду (частично перекись водорода).

Количественное определение ферментов дегидрогеназ в ряде случаев позволяет получать быструю характеристику условий процесса и его особенностей и используется в качестве одного из технологических параметров управления процессом.

Методы биоокисления в искусственных условиях осуществляются в двух основных модификациях – с микроорганизмами, прикрепленными к материалу загрузки фильтра или со свободно плавающими в обрабатываемой воде.

Первый способ реализуется в сооружениях, называемых биологическими фильтрами или кратко биофильтрами. В биофильтрах сточная вода фильтруется через крупнозернистый материал, покрытый биопленкой, образованной колониями микроорганизмов.

Второй вариант метаболизма в аэробных условиях заключается в создании в резервуаре со сточной водой взвешенного слоя хлопьев ила, называемого активным, через который протекает сточная вода. Бионаселение активного ила и биопленки весьма разнообразно. Оно включает бактерии, которым в процессе очистки отводится главенствующая роль, простейшие, грибы, некоторые высшие организмы (типа коловраток, червей, клещей), водоросли, вирусы.

Качественный и количественный состав микронаселения ила и пленки зависит от многих факторов: состава обрабатываемой воды, массы загрязнений, приходящихся на единицу массы ила в единицу времени, доступа кислорода, гидродинамического режима в сооружении и ряда других. Число бактерий в илах колеблется от 10^8 до 10^{12} на 1 мг сухого вещества. Большинство бактерий принадлежит к родам: *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alkaligeetes*, *Bacillus*, *Bacterium micrococcus Flavobacterium*.

Установлено, что чем больше различных органических соединений в стоках, тем разнообразнее биоценоз ила. Так, в илах от обработки хозяйственно-бытовых стоков найдено 32 вида бактерий, а в илах, которые выращивались на стоках от производства винилацетата и ацетальдегида – только 7 видов.

Микрофлора и фауна активного ила и биопленки, обрабатывающих одинаковую сточную воду, идентичны в качественном отношении, но отличаются в количественном – по соотношению микроорганизмов различных родов и видов.

В биопленке относительно высокий процент приходится на анаэробную микрофлору. Биоценоз ила меняется на протяжении процесса очистки воды. По мере изменения содержания питательных веществ в иле в нем происходит изменение числа бакте-

рий разных родов. В биофильтрах микробиальный состав ила меняется по высоте сооружения, что соответствует постепенному снижению нагрузки по загрязнениям в направлении фильтрации и нарастанию концентрации растворенного кислорода в очищаемой воде.

Важнейшим свойством ила является его способность образовывать хлопья, которые можно отделить от воды путем седиментации.

Ил отделяют от воды во вторичных отстойниках, после чего он возвращается вновь в аэротенк, а очищенная вода направляется на последующую обработку. Избыток ила, т. е. тот его прирост, который образуется в процессе использования органических веществ сточной воды, удаляется из сооружений.

Имеется несколько теорий хлопьеобразования, из которых наиболее удачной считается теория Маккини. По этой теории хлопьеобразование происходит в той стадии метаболизма, когда соотношение содержания питательных веществ к бактериальной массе становится низким. Низкое соотношение обуславливает и низкий энергетический уровень системы активного ила, что, в свою очередь, приводит к недостаточному запасу энергии движения. Энергия движения противодействует силам притяжения, а если она мала, то противодействие тоже мало, и бактерии взаимно притягиваются.

Считается, что важными факторами флокуляции являются электрический заряд на поверхности клетки, образование бактериальной капсулы и выделение слизи на поверхности клетки. Химический анализ слизи и капсулы (оболочки клетки) показал, что они в значительной степени состоят из ацетильных групп и аминокрогрупп.

Маккини предположил, что именно эти группы и определяют поверхностный электрический заряд клетки: отрицательный при преобладании первых и положительный при преобладании вторых. Как только хлопья начинают образовываться, некоторые бактерии внутри хлопья отмирают, распадаются, нерастворимые полисахариды остаются в хлопке и захватывают следующие малоактивные бактерии.

Небактериальное население илов и биопленки представлено следующими группами микроорганизмов: простейшие, коловрат-

ки, черви, водные личинки и куколки насекомых, водные клещи, водные грибы. Между различными группами организмов активного ила наблюдаются три типа отношений, лежащих в основе микробиологического процесса очистки: отношения метабиоза между гетеротрофными и нитрифицирующими бактериями, конкурентные отношения между гетеротрофными бактериями и сапрозойными простейшими и отношения «хищник – жертва» между ресничными простейшими и гетеротрофными бактериями. Можно выделить три последовательных трофических уровня, соответствующих основным фазам роста ила и обуславливающих развитие определенных групп микроорганизмов (в периодическом процессе очистки):

- первый трофический уровень (когда на единицу массы ила приходится большая масса загрязнений) характеризуется преобладанием в иле гетеротрофных бактерий и сапрозойных простейших, питающихся растворенными органическими веществами, и незначительным развитием свободно плавающих ресничных;

- второй трофический уровень (при меньшем количестве загрязнений) отличается развитием в иле голозойных свободно плавающих инфузорий и коловраток, питающихся бактериями и сапрозойными простейшими;

- третий трофический уровень (с очень малым количеством загрязнений) характеризуется максимальным развитием прикрепленных и хищных инфузорий, коловраток и червей, питающихся голозойными инфузориями и иловыми частицами.

Если процесс очистки включает все указанные трофические уровни, то в ходе его в биоценозе активного ила наблюдается последовательное развитие популяций от организмов с сапрозойным способом питания до организмов-хищников.

Если процесс очистки ограничен вторым и третьим или только третьим уровнем питания, то значительных изменений в микробном составе ила не происходит.

Многолетние наблюдения за работой очистных сооружений биологической очистки, а также результаты исследований показали, что микронаселение ила может служить индикатором процесса очистки.

В нормально работающем иле обычно наблюдается большое разнообразие простейших, при этом нет количественного преобладания какого-либо одного из видов, все организмы подвижны, находятся в оживленном состоянии; ил хорошо флокулирует и легко оседает.

Если питания для ила недостаточно, то наблюдается измельчение простейших, они становятся прозрачными; инфузории инцистируются. Вслед за инфузориями инцистируются коловратки. Вода над илом имеет мелкую, плохо оседающую мусть. Ил с избытком питания имеет малое количественное разнообразие видов при количественном преобладании одного из них. Появляются саркодовые, могут в большом числе развиваться нитчатые бактерии. Вода над илом имеет опалесценцию. Отклонения в составе ила появляются при поступлении сточной воды другого состава или при недостатке кислорода в сооружении.

Количественная оценка организмов в иле производится путем подсчета числа особей каждого вида в определенном объеме капли (под микроскопом) с переводом затем полученного результата на 1 мл смеси. Число организмов в 1 мл изменяется от единиц до нескольких сотен тысяч. Ориентировочно можно считать, что «мало» организмов соответствует $1 \div 10$ тыс. в 1 мл, «нормально», «заметно», «удовлетворительно» – $10 \div 100$ тыс. и «много» – более 100 тыс.

16.1. Биофильтры

Биологический фильтр – сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов. Биофильтр состоит из следующих основных частей:

а) фильтрующей загрузки (тело фильтра) из шлака, гравия, керамзита, щебня, пластмасс, асбестоцемента, помещенной обычно в резервуаре с водопроницаемыми или водонепроницаемыми стенками;

б) водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное с небольшими интервалами орошение сточной водой поверхности загрузки биофильтра;

в) дренажного устройства для удаления профильтровавшейся воды;

г) воздухораспределительного устройства, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух.

Процессы окисления, происходящие в биофильтре, аналогичны процессам, происходящим в других сооружениях биологической очистки, и в первую очередь на полях орошения и полях фильтрации. Однако в биофильтре эти процессы протекают значительно интенсивнее. Проходя через загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней нерастворенные примеси, не осевшие в первичных отстойниках, а также коллоидные и растворенные органические вещества, сорбируемые биологической пленкой. Густозаселяющие биопленку микроорганизмы окисляют органические вещества и отсюда черпают энергию, необходимую для своей жизнедеятельности. Часть органических веществ микроорганизмы используют как пластический материал для увеличения своей массы.

Таким образом, из сточной воды удаляются органические вещества, и в то же время увеличивается масса активной биологической пленки в теле биофильтра. Отработанная и омертвевшая пленка смывается протекающей сточной водой и выносится из тела биофильтра. Необходимый для биохимического процесса кислород воздуха поступает в толщу загрузки путем естественной и искусственной вентиляции фильтра.

Биофильтры классифицируются по различным признакам:

1. По степени очистки – на биофильтры, работающие на полную и неполную биологическую очистку. Высокопроизводительные биофильтры могут работать на полную или неполную очистку в зависимости от необходимой степени очистки. Малопроизводительные биофильтры работают только на полную очистку.

2. По способу подачи воздуха – на биофильтры с естественной и искусственной подачей воздуха. Во втором случае они часто носят название аэрофильтров. Наибольшее применение в настоящее время имеют биофильтры с искусственной подачей воздуха.

3. По режиму работы – на биофильтры, работающие с рециркуляцией и без нее. Если концентрация загрязнений в поступаю-

щих на биофильтр сточных водах невысока, и они могут быть поданы на биофильтр в таком объеме, который достаточен для самопроизвольной его промывки, то рециркуляция стока не обязательна. При очистке концентрированных сточных вод рециркуляция желательна, а в некоторых случаях обязательна. Рециркуляция позволяет понизить концентрацию сточных вод до необходимой величины, так же как и предварительная их обработка в аэротенках – на неполную очистку.

4. По технологической схеме – на биофильтры одноступенчатые и двухступенчатые. Двухступенчатые биофильтры применяются при неблагоприятных климатических условиях, при отсутствии возможности увеличивать высоту биофильтров и при необходимости более высокой степени очистки. Иногда предусматривается переключение фильтров, т. е. периодическая эксплуатация каждого из них в качестве фильтра первой и второй ступени.

5. По пропускной способности – на биофильтры малой пропускной способности (капельные) и большой пропускной способности (высоконагружаемые).

6. По конструктивным особенностям загрузочного материала – на биофильтры с объемной загрузкой и с плоскостной загрузкой. Биофильтры с объемной загрузкой можно подразделить на: капельные биофильтры (малой пропускной способности), имеющие крупность фракций загрузочного материала 20÷30 мм и высоту слоя загрузки 1÷2 м; высоконагружаемые биофильтры, 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. Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются на: биофильтры с жесткой загрузкой в виде колец, обрезков труб и других элементов. В качестве загрузки могут быть использованы керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы.

В зависимости от материала загрузки плотность ее составляет 100÷600 кг/м³, пористость 70÷90 %, высота слоя загрузки 1÷6 м; биофильтры с жесткой загрузкой в виде решеток или блоков, собранных из чередующихся плоских и гофрированных листов.

Блочные загрузки могут выполняться из различных видов пластмассы (поливинилхлорид, полиэтилен, полипропилен, полистирол и др.), а также из асбестоцементных листов. Плотность пластмассовой загрузки $40 \div 100 \text{ кг/м}^3$, пористость $90 \div 97 \%$, высота слоя загрузки $2 \div 16 \text{ м}$. Плотность асбестоцементной загрузки $200 \div 250 \text{ кг/м}^3$, пористость $80 \div 90 \%$, высота слоя загрузки $2 \div 6 \text{ м}$; биофильтры 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 $5 \div 60 \text{ кг/м}^3$, пористость $94 \div 99 \%$, высота слоя загрузки $3 \div 8 \text{ м}$.

К биофильтрам с плоскостной загрузкой следует отнести и погружные биофильтры, представляющие собой резервуары, заполненные сточной водой и имеющие днище вогнутой формы. Вдоль резервуара несколько выше уровня сточной воды устанавливается вал с насаженными пластмассовыми, асбестоцементными или металлическими дисками диаметром $0,6 \div 3 \text{ м}$. Расстояние между дисками $10 \div 20 \text{ мм}$, частота вращения вала с дисками $1 \div 40 \text{ мин}^{-1}$.

Плоскостные биофильтры с засыпной и мягкой загрузкой рекомендуется применять при расходах до $10 \text{ тыс. м}^3/\text{сутки}$, с блочной загрузкой – до $50 \text{ тыс. м}^3/\text{сутки}$, погружные биофильтры – для малых расходов до $500 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

Основные типы биофильтров

Капельные биофильтры. В капельном биофилт্রে сточная вода подается в виде капель или струй. Естественная вентиляция воздуха происходит через открытую поверхность биофильтра и дренаж. Такие биофильтры имеют низкую нагрузку по воде; обычно она колеблется от $0,5$ до 1 м^3 воды на 1 м^3 фильтра.

Капельные биофильтры рекомендуется применять при расходе сточных вод не более $1000 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Они предназначены для полной (до $\text{БПК}_{20} = 10 \div 15 \text{ мг/л}$) биологической очистки сточной воды. Схема работы капельных биофильтров следующая. Сточная вода, осветленная в первичных отстойниках, самотеком (или под напором) поступает в распределительные устройства, из которых периодически напускается на поверхность биофильтра. Вода, профильтрованная через толщу биофильтра, попадает в дренажную систему и далее по сплошному непроницаемому

днищу стекает к отводным лоткам, расположенным за пределами биофильтра. Затем вода поступает во вторичные отстойники, в которых выносимая пленка отделяется от очищенной воды. При нагрузке по загрязнению больше допустимой, поверхность капельных биофильтров быстро заиливается, и работа их резко ухудшается. Проектируются они круглыми или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном: верхним в виде колосниковой решетки и нижним – сплошным.

Высота междудонного пространства должна быть не менее 0,6 м для возможности периодического его осмотра. Дренаж биофильтров выполняют из железобетонных плит, уложенных на бетонные опоры. Общая площадь отверстий для пропуска воды в дренажную систему должна составлять не менее $5 \div 8$ % 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 (максимально возможный по конструктивным соображениям) – не менее 0,005. Стенки биофильтров выполняются из сборного железобетона и возвышаются над поверхностью загрузки на 0,5 м для уменьшения влияния ветра на распределение воды по поверхности фильтра. При наличии дешевого грузозачного материала и свободной территории небольшие биофильтры можно устраивать без стенок; фильтрующий материал в этом случае засыпается под углом естественного откоса. Наилучшими материалами для засыпки биофильтров являются щебень и галька.

Высоконагружаемые биофильтры. В начале прошлого столетия появились биофильтры, которые в странах СНГ получили название аэрофильтры, а за рубежом – биофильтры высокой нагрузки. Отличительной особенностью этих сооружений является более высокая, чем в обычных капельных биофильтрах, окислительная мощность, что обусловлено незаиляемостью таких фильтров и лучшим обменом воздуха в них. Достигается это благодаря более крупному грузозачному материалу и повышенной скорости движения сточной воды 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 фильтра.

Конструктивными отличиями высоконагружаемых биофильтров являются большая высота слоя загрузки, большая крупность ее зерен и особая конструкция днища и дренажа, обеспечивающая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом. Междудонное пространство должно быть закрытым, и туда подается вентиляторами воздух. На отводных трубопроводах должны быть предусмотрены гидравлические затворы глубиной 200 мм.

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^2 площади 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 частичной, так и для полной их очистки.

Как показали исследования, в одинаковых условиях (одинаковая высота и крупность загрузки, характер загрязнений, степень очистки сточных вод и т. д.) высоконагружаемые биофильтры по сравнению с капельными, имеют большую пропускную способность по объему пропускаемой через них воды, а не по количеству переработанных (окисленных) загрязнений. Повышенная же эффективность этих биофильтров по извлечению из сточных вод загрязняющих веществ достигается при увеличении высоты слоя загрузки, увеличении крупности зерен загрузки и лучшем воздухообмене.

Башенные биофильтры. Эти биофильтры имеют высоту $8 \div 16$ м и применяются для очистных станций пропускной способностью до $50000 \text{ м}^3/\text{сутки}$ при благоприятном рельефе местности и при БПК₂₀ очищенной воды $20 \div 25$ мг/л.

Окислительную мощность биофильтра ОМ, $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сутки})$, можно выразить уравнением:

$$OM = (L_0 - L_t) / W_1 \quad (16.1)$$

или

$$W_1 = (L_0 - L_t) / OM, \quad (16.2)$$

где L_0 – биохимическая потребность в кислороде, г на 1 м^3 поступающей на биофильтр воды; L_t – биохимическая потребность в кислороде, г на 1 м^3 выходящей с фильтра (очищенной) воды; W_1 – объем фильтрующего материала, м^3 , необходимый для очистки 1 м^3 сточной воды в сутки.

Допустимая нагрузка, т. е. расход, $\text{м}^3/\text{сутки}$, сточных вод, которые могут быть очищены на 1 м^3 фильтрующей загрузки, определяется из уравнения:

$$q_0 = OM / (L_0 - L_t). \quad (16.3)$$

Нагрузка по воде (для открытых биофильтров) при различных значениях БПК₂₀ поступающих на биофильтр сточных вод может быть принята по таблице 16.1.

Таблица 16.1 – Нагрузка сточных вод на биофильтры в зависимости от БПК₂₀

Среднегодовая температура воздуха, °С	Окислительная мощность, г/м ³	q ₀ , м ³ /(м ³ *сутки),	
		при БПК ₂₀ =200 мг/л	при БПК ₂₀ =300 мг/л
От 3 до 6	150	0,75	0,50
От 6 до 10	250	1,25	0,83
От 10 и выше	300	1,50	1,00

Зная расход сточных вод Q , $\text{м}^3/\text{сутки}$, поступающих на станцию, и допустимую нагрузку q_0 , нетрудно определить необходимый объем загрузки, м^3 :

$$W = Q / q_0. \quad (16.4)$$

Площадь биофильтров может быть определена по формуле:

$$F = (Q*(n+1)*L_{CM}) / N, \quad (16.5)$$

где $n = q_p / Q$, (где: q_p – рециркуляционный расход); Q – среднесуточный приток сточной воды, м^3 ; N – допустимая нагрузка, г БПК₂₀ на 1 м^2 площади биофильтра в сутки, принимаемая в зависимости от среднегодовой температуры воздуха: до +3 °С – 1700; от +3 °С до +6 °С – 2300; более +6 °С – 3000.

Общий объем фильтрующей среды W , м^3 , определяется по формуле:

$$W = F * H, \quad (16.6)$$

где H – рабочая высота биофильтра, м.

Гидравлическая нагрузка q , $\text{м}^3/(\text{м}^2*\text{сутки})$, на поверхность биофильтра определяется по формуле:

$$q = N / L_{\text{см}}. \quad (16.7)$$

По заданным БПК₂₀ очищенной воды L_t , $\text{г}/\text{м}^3$, устанавливается концентрация подаваемых на биофильтр сточных вод или концентрация смеси их с разбавляющей водой (допустимая) $L_{\text{см}}$, которая может быть допущена при данной высоте биофильтра и температуре сточной воды:

$$L_{\text{см}} = k * L_t. \quad (16.8)$$

Значение коэффициента k принимается по таблице 16.2.

Таблица 16.2 – Значения k для определения $L_{\text{см}}$

Среднезимняя температура сточных вод, °С	Значения k при рабочей высоте биофильтров, м				
	2	2,5	3	3,5	4
От 8 до 10	2,5	3,3	4,4	5,7	7,5
От 10 до 14	3,3	4,4	5,7	7,5	9,6
От 14 и выше	4,4	5,7	7,5	9,6	12

Гидравлическая нагрузка должна быть $10 \div 30 \text{ м}^3/(\text{м}^2*\text{сутки})$. Если при вычислении она получается менее $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2*\text{сутки})$, следует увеличить рециркуляционное отношение и снизить высоту биофильтра.

Высоту биофильтра назначают в зависимости от местных условий и требуемой степени очистки сточных вод. Если очищенная сточная вода должна иметь БПК₂₀ = 25÷30 мг/л, высота биофильтра должна быть не менее 2 м, если БПК₂₀ = 20 мг/л – не менее 3 м и при БПК₂₀ = 15 мг/л – не менее 4 м.

Вентиляция биофильтров. Естественная вентиляция в биофильтрах происходит вследствие разницы температур наружного воздуха и тела биофильтра.

Основная масса воздуха поступает в тело биофильтра через междудонное пространство и сверху вместе с водой по мере ее

движения в фильтре. Если температура сточных вод выше температуры воздуха, то устанавливается восходящий (от дренажа к поверхности) поток воздуха, при обратном соотношении – нисходящий; при равенстве температур вентиляция может совсем прекратиться.

Интенсивность вентиляции биофильтров зависит также от высоты слоя фильтрующей загрузки, размеров ее зерен и высоты междудонного пространства. Чем мельче загрузка, тем хуже условия вентиляции. Исследования, проведенные Н.А. Базякиной, показали, что объем кислорода воздуха, используемого в биофильтрах, как и в других сооружениях биологической очистки, не превышает 7÷8 %. Необходимый расход воздуха, м³ на 1 м³ сточной воды, определяется по уравнению:

$$q_p = \text{БПК}_{20} / 21 \quad (16.9)$$

Температура внутри биофильтра не должна быть ниже +6 °С, иначе окислительный процесс практически прекращается. В установках большой и средней пропускной способности необходимая температура поддерживается вследствие постоянного притока сточных вод, температура которых почти всегда выше +8 °С. Поэтому такие фильтры обычно не требуют утепления. Небольшие фильтры, как уже отмечалось, приходится размещать в утепленных помещениях во избежание их переохлаждения, особенно в ночное время, когда приток сточной воды уменьшается.

Надежная работа биофильтра может быть достигнута только при равномерном орошении водой его поверхности. 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, движущиеся наливные колеса и вращающиеся реактивные распределители (оросители). В отечественной и зарубежной практике наибольшее распространение получили спринклерное орошение и орошение при помощи подвижных оросителей.

16.2. Аэротенки

Технологические показатели работы аэрационной системы. Эффективность процесса очистки в аэротенках, качественное состояние и окислительная способность активного ила определяют рядом условий, к которым относятся: состав и свойства сточных вод, гидродинамические условия перемешивания, соотношение количества поданных загрязнений и жизнеспособного ила, кислородный режим в сооружении, температура и активная реакция среды, наличие элементов питания, присутствие активаторов или ингибиторов процесса и т. п.

Некоторые из этих условий могут быть изменены в процессе эксплуатации для регулирования технологического режима. Основанием для таких изменений являются одновременные учет и сопоставление всех указанных параметров.

Одной из основных характеристик состояния активного ила в аэротенке является нагрузка загрязнений на ил, т.е. соотношение количества поданных загрязнений на единицу массы ила в единицу времени (в сутки).

Обычно за меру количества загрязнений принимают их кислородные эквиваленты – БПК и ХПК. В отдельных случаях подсчитывают нагрузку по специфическим видам загрязнений – тяжелым металлам, СПАВ, некоторым токсичным веществам.

За меру массы ила принимают 1 г сухого вещества или 1 г беззольного вещества ила. Предпочтительнее второй вариант, так как в активном иле обычно присутствует 25÷35 % (по весу) минеральных веществ, которые не входят в состав биомассы микроорганизмов.

Собственная зольность биомассы, т. е. минеральная часть клеточного вещества, составляет не более 5÷7 %. Таким образом, органическая, или беззольная, часть ила гораздо точнее характеризует количество биомассы в иле. Заметим, однако, что и этот показатель не определяет однозначно число активных жизнеспособных клеток, а потому окислительная способность двух илов с равной биомассой, очищающих различные по составу сточные воды, может быть совершенно различной. В настоящее время разрабатываются методы, которые позволят более полно характе-

ризовать состояние ила, в частности по содержанию в иле аденозинтрифосфорной кислоты АТФ.

Различают понятия нагрузка на ил и окислительная мощность ила, или окислительная его способность. Нагрузкой на ил учитывается количество поданных загрязнений, а окислительной способностью – количество снятых загрязнений. При полной биологической очистке при БПК_{полн} очищенной воды, равной 15÷20 мг/л, окислительная способность ила составляет 90 % и более от нагрузки в зависимости от БПК_{полн} поступающей воды.

Окислительная способность самой аэрационной системы, рассчитанная на 1 м³ объема аэротенка, тем выше, чем выше концентрация ила (до определенных пределов) в иловой смеси. Концентрацию ила иначе называют дозой ила. В аэротенках разных систем и конструкций диапазон изменения доз ила достаточно велик – от 1 до 20 г/л.

Окислительная способность, отнесенная к 1 часу, называется скоростью окисления и является основным расчетным параметром аэротенка.

При характеристике работы аэротенка иногда пользуются понятием возраст ила. Возрастом ила или периодом его обмена называется средняя продолжительность пребывания ила в системе аэрационных сооружений. Определяется он как частное от деления массы (по сухому веществу) активного ила, находящегося в аэрационной системе (аэротенках, каналах, вторичных отстойниках), на массу активного ила, удаляемого из системы в течение суток.

Возраст ила (в сутках) определяется по формуле:

$$B = ((V_{\text{аэр}} + V_{\text{кан}}) * a_{\text{ср}} + V_{\text{отст. зон}} * a'_{\text{ср}}) / (P_p * Q), \quad (16.10)$$

где $V_{\text{аэр}}$, $V_{\text{кан}}$, $V_{\text{отст. зон}}$ – объемы соответственно аэротенков, каналов и отстойных зон вторичных отстойников, м³; $a_{\text{ср}}$ – средняя концентрация активного ила в аэротенках и каналах, кг/м³ (г/л); $a'_{\text{ср}}$ – средняя концентрация активного ила в отстойной зоне вторичных отстойников, кг/м³ (г/л); Q – объем очищаемой воды, м³/сутки; P_p – прирост активного ила, кг/м³.

Масса ила во вторичных отстойниках по сравнению с массой ила в аэротенках невелика, поэтому произведением ($V_{\text{отст. зон}} * a'_{\text{ср}}$) можно пренебречь.

Показателем качества активного ила является способность его к оседанию. Эта способность оценивается значением илового индекса, представляющего собой объем активного ила в миллилитрах после 30-минутного отстаивания, который относят к 1 г сухого вещества ила.

Экспериментально установлено, что иловый индекс зависит от концентрации ила, поэтому его определение проводят при постоянной дозе ила, равной 3 г/л. Если анализируемая иловая смесь имеет дозу ила меньше 3 г/л, то его сгущают путем отстаивания, а если доза ила больше указанной, то его разбавляют водопроводной водой.

Хорошо оседающим считается ил с индексом не более $100 \div 120$. Ил глубоко минерализованный может иметь индекс $60 \div 90$.

В неблагоприятных условиях, при резкой перегрузке или недогрузке ила, резком изменении температуры, состава стоков и т. п., ил может «вспухать». «Вспухший» ил имеет индекс более $150 \div 200$. Такой ил плохо оседает и отделяется от воды во вторичных отстойниках, выносится с очищенной водой из сооружения, вследствие чего снижается общий эффект очистки и уменьшается концентрация ила в аэротенке. В то же время «вспухший» ил, обладая очень развитой поверхностью, эффективно очищает воду, но работа аэротенков с ним крайне неустойчива.

При аэрации сточной воды с активным илом происходят процессы очистки воды и увеличение количества активного ила вследствие прироста биомассы и извлечения из воды биологически неактивных загрязнений. Если же этот процесс будет продолжаться достаточно долго, то после достижения какого-то максимума общая масса ила в системе начнет уменьшаться.

Большая часть загрязнений удаляется в первые несколько минут аэрации. Потребность системы в кислороде согласуется с характером снижения БПК. Это означает высокую начальную БПК, а затем ее быстрое снижение до потребности в стадии эндогенного дыхания, которая остается практически постоянной до конца периода аэрации. Этот процесс носит название обычной или классической аэрации.

Процесс полного окисления можно провести в две стадии:

1) за время t_1 очистить воду до требуемой кондиции (по схеме обычной аэрации);

2) за время t_4 окислить избыточный ил ΔS_1 (после уплотнения в илоуплотнителях).

Сумма $t_1 + t_4 = t_3$, т. е. общий результат обработки будет таким же, что и по схеме полного окисления, но этот вариант дает очевидные преимущества в сокращении объема сооружений, так как отдельно окисляемый в сооружениях ил имеет в 3÷5 раз более высокую концентрацию, чем в аэротенке.

Обработка ила в аэробных условиях называется аэробной стабилизацией ила или аэробной его минерализацией. Аэробная стабилизация ила достаточно широко применяется в настоящее время для обработки небольших количеств ила. При этом требуемое время окисления t_4 составляет около 10 суток.

Расход воздуха, обеспечивающий заданный эффект очистки воды и обработки ила, оценивают в кубических метрах, отнесенных к 1 м^3 очищаемой воды, а также к 1 кг снятой БПК. При обработке городских сточных вод и пневматической системе аэрации, удельный расход воздуха составляет соответственно $5 \div 15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и $25 \div 60 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Необходимый расход подаваемого воздуха определяют по концентрации растворенного кислорода в иловой смеси. Считается, что при концентрации растворенного кислорода 2 мг/л и более, скорость окисления органических веществ не лимитируется недостатком кислорода.

В основные технологические схемы очистки сточных вод входят аэротенки одноступенчатые, аэротенки с регенераторами и аэротенки двухступенчатые.

Простейшая схема очистки сточных вод содержит одноступенчатые аэротенки. По этой схеме возможна очистка стоков с применением обычной аэрации, полного или неполного окисления, а также с использованием высоконагружаемых аэротенков.

По сравнению с другими сооружениями, одноступенчатые аэротенки относительно просты в эксплуатации.

Баланс количества ила в одноступенчатом аэротенке описывается уравнением:

$$Q * P_p + q * a_{\text{возвр}} = (Q + q) * a_{\text{аэр}}, \quad (16.11)$$

где Q и q – расходы соответственно сточной воды и возвратного ила, м³/сутки; $a_{\text{возвр}}$ и $a_{\text{аэр}}$ – соответственно концентрация ила возвратного (или циркуляционного), направляемого в аэротенк после отстаивания, и в аэротенках, кг/м³ (г/л); P_p – прирост ила, кг/м³ (г/л).

Если прирост ила мал по сравнению с величиной $a_{\text{аэр}}$, то значением произведения « $Q * P_p$ » можно пренебречь. Тогда:

$$a_{\text{аэр}} = a_{\text{возвр}} * ((q) / (Q + q)). \quad (16.12)$$

Количество возвратного ила выражают в долях (α) от расхода очищаемой воды:

$$\alpha = q / Q. \quad (16.13)$$

В практике эксплуатации пользуются также понятием процента возвратного ила, т. е. $\alpha * 100$ %. Приняв во внимание выражение (16.13), получим:

$$a_{\text{аэр}} = a_{\text{возвр}} * ((\alpha) / (1 + \alpha)) \text{ или } \alpha = ((a_{\text{аэр}}) / (a_{\text{возвр}} - a_{\text{аэр}})). \quad (16.14)$$

При проектировании аэротенков α рекомендуется принимать в диапазоне 30÷70 %. Нетрудно видеть, что из этих рекомендаций следует:

$$a_{\text{возвр}} = (2,5 \div 4) * a_{\text{аэр}}. \quad (16.15)$$

Если принять, например, что $a_{\text{аэр}} = 2$ г/л, то в аэротенк должен возвращаться ил с концентрацией 5÷8 г/л. Если ил уплотнять дольше, то можно получить $a_{\text{возвр}} \geq 8$ г/л, а $\alpha < 0,3$. Снижение процента возвратного ила уменьшает затраты электроэнергии на перекачку ила. Более длительное его выдерживание в отстойниках (без аэрирования) обуславливает начало анаэробных процессов в иле, сопровождающихся выделением газов и его взмучиванием, что приводит к выносу ила с очищенной водой и к снижению общего эффекта очистки стоков.

Одноступенчатая схема очистки сточных вод в аэротенках имеет ряд существенных недостатков. В таких аэротенках нельзя интенсифицировать процесс очистки стоков путем увеличения массы активного ила. Существенным недостатком этой техноло-

гической схемы является и то, что при залповом поступлении сточных вод, содержащих токсичные примеси, может происходить резкое нарушение жизнедеятельности микронаселения активного ила или даже его гибель. В обоих случаях нормальная работа аэротенка нарушается на длительное время.

Отмеченные недостатки отсутствуют в аэротенках, работающих по иной технологической схеме. В основу схемы с аэротенками и регенераторами положена разница в скоростях двух процессов очистки илом сточной воды от исходных загрязнений и биохимического окисления этих загрязнений. Для городских сточных вод эта схема оказалась весьма рациональной, поскольку скорость очистки сточной воды в 2÷5 раз превышает скорость окисления.

При наличии аэротенка с регенератором смесь воды с илом аэрируют в течение времени, достаточного для достижения требуемого эффекта по БПК, а затем ил после отделения его в отстойнике перекачивают в регенератор, где процессы окисления заканчиваются и ил приобретает первоначальные свойства. Поскольку при регенерации ила $a_{\text{возвр}} > a_{\text{аэр}}$, то для обеспечения той же продолжительности окисления, что и в одноступенчатом аэротенке, для аэротенка с регенератором требуется меньший объем аэрационной системы.

Если регенератор вводится в систему эксплуатируемого аэротенка, то этим приемом достигается повышение общей массы ила, что позволяет либо понизить нагрузку на ил (при прежнем количестве воды), либо увеличить пропускную способность аэротенка.

Введение регенераторов для обработки городских сточных вод рекомендуется применять при БПК_{полн} поступающей воды 150 мг/л и более. Для производственных сточных вод целесообразность введения регенераторов должна быть подтверждена экспериментально.

Если скорость окисления загрязнений близка к скорости изъятия их из воды, то вводить в схему регенератор не следует.

При высокой исходной концентрации органических загрязнений в воде, а также при наличии в воде веществ, скорость окисления которых резко различна, целесообразно применение двухступенчатой схемы.

В аэротенках I ступени БПК сточных вод снижается на 50÷70 %, что обычно учитывается при проектировании. Полностью не очищенная вода после отстаивания направляется на доочистку в аэротенки II ступени. Особенностью ступенчатой очистки сточных вод является то, что в каждой ступени аэротенков постепенно развивается ил со специфическим биоценозом, наиболее приспособленный к существованию в данных условиях и обеспечивающий высокий эффект работы сооружений. Поэтому общий объем аэротенков на единицу объема очищаемой воды уменьшается по сравнению с объемом обычных аэротенков.

Двухступенчатая очистка сточных вод может производиться как без регенераторов, так и с регенераторами. Обычно регенераторы предусматриваются для I ступени аэротенков в объеме 50 %. Менее нагруженным по количеству загрязнений является активный ил аэротенков II ступени, поэтому рекомендуется направлять избыток активного ила в аэротенки I ступени.

В аэротенках может быть достигнута практически любая степень очистки воды. Чаще всего они рассчитываются на полную очистку со снижением БПК_{полн} очищенной воды до 15 мг/л. При благоприятных местных условиях предусматривается лишь частичная очистка стока. Она производится в одноступенчатых аэротенках, работающих по технологическим схемам без регенераторов и с регенераторами. Применение последних более экономично и надежно в санитарном отношении. Частичная очистка сточных вод широко применяется в зарубежной практике.

При очистке слабokonцентрированных вод доза активного ила в аэротенках на частичную очистку поддерживается в пределах до 0,5 г/л, а продолжительность аэрации составляет 1,5÷3 ч. При этих условиях БПК_{полн} очищаемой воды снижается на 55÷75 %. Поступающая во вторичные отстойники смесь воды и активного ила хорошо отстаивается; ил уплотняется лучше, чем при полной очистке, поэтому объем циркуляционного ила уменьшается на 10÷15 %.

Любая из описанных схем очистки воды может быть осуществлена с применением аэротенков, имеющих различную структуру потоков. По структуре потоков различают:

а) аэротенки-вытеснители, в которые сточная вода и возвратный ил впускаются сосредоточенно с одной из торцовых сторон аэротенка и выходят также сосредоточенно с другой торцовой стороны сооружения;

б) аэротенки-смесители, в которых подвод и отвод сточной воды и ила осуществляется равномерно вдоль длинных сторон коридора аэротенка; при этом считается, что происходит полное смешение поступающей сточной воды с находящейся в аэротенке смеси сточной воды и ила;

в) аэротенки с рассредоточенной подачей сточной воды, в которых последняя подводится в нескольких точках по длине аэротенка, а отводится сосредоточенно в его торцовой части; возвратный ил подается сосредоточенно в начало аэротенка.

Основное отличие в условиях биоокисления в аэротенках-смесителях и аэротенках-вытеснителях заключается в том, что в первых нагрузка загрязнений на ил и скорость их окисления (скорость потребления кислорода) одинаковы во всех точках сооружения, а во вторых они изменяются от наибольших (в начале сооружения) до наименьших (в его конце). При рассредоточенной подаче сточной воды по длине аэротенка единовременные нагрузки на ил уменьшаются при одновременном снижении предела колебаний нагрузок от одного впуска до другого. Условия окисления загрязнений в таких аэротенках приближаются к условиям работы аэротенка-смесителя.

При постоянной нагрузке на ил или при небольших колебаниях этой величины снабжение аэротенка воздухом должно обеспечивать одинаковый кислородный режим во всех точках сооружения. В аэротенках-вытеснителях эта задача усложняется, так как при наличии разницы в скоростях процесса по длине сооружения необходима и соответствующая дифференцированная подача воздуха. Однако из-за технических трудностей, связанных с осуществлением такого распределения, этот аэротенк распространения не получил.

Методика расчета аэротентов приведена в СНиП 2.04.03–85*.

Обобщенный метод расчета заключается в определении продолжительности аэрации t (час) и рабочего объема W аэротенков всех типов по формулам:

$$t = (L_a - L_t) / (d_a * (1 - Z_{и}) * \rho, \quad (16.16)$$

$$W = (t * Q) / 24, \quad (16.17)$$

где Q – расчетный расход сточной воды, м³/сутки; L_a и L_t – БПК_{полн} поступающей в аэротенк и очищенной в нем сточной воды, мг/л; d_a – доза ила по сухому веществу, г/л; $Z_{и}$ – зольность ила, выраженная в долях единицы; ρ – скорость окисления, в мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч.

За расчетный расход принимают среднечасовой приток в течение суток, если коэффициент $K_{общ} \leq 1,25$. Если $K_{общ} \geq 1,25$, то подсчитывается среднечасовой приток за период, равный продолжительности аэрации в часы максимального поступления воды в аэротенки.

Дозу ила d_a рекомендуется принимать тем больше, чем выше исходная БПК_{полн}. При значении $L_a \leq 100$ мг/л величина d_a принимается равной 1,2 г/л, при $L_a = 100 \div 150$ мг/л $d_a = 1,5$ г/л, при $L_a = 150 \div 200$ мг/л $d_a = 1,8$ г/л, а при $L_a \geq 200$ мг/л $d_a = 1,8 \div 3$ г/л.

В аэротенках с полной минерализацией ила $d_a = 5$ г/л. Зольность ила в аэротенках принимается равной 0,3, а при условии полной минерализации ила – 0,35.

При проектировании аэротенков с регенераторами подсчитывают отдельно время, необходимое для очистки воды $t_{аэп}$ (час), общее время окисления загрязнений t_0 (час), и по разнице этих величин – время пребывания ила в регенераторе для окончания окислительных процессов переработки загрязнений $t_{пер}$ (час).

Численные значения $d_{a(аэп)}$ и $d_{a(пер)}$ рекомендуется принимать равными соответственно 1,5 и 4 г/л, что обеспечивает надежный запас объемов очистных сооружений. Однако при эксплуатации аэротенков с регенераторами дозы ила могут иметь и другие значения: если они больше рекомендованных, то окислительная мощность системы выше. Это позволяет либо перерабатывать большие количества загрязнений, либо достигать более глубокого их окисления.

Объемы сооружений подсчитываются по формулам:

$$W_{аэп} = t_{аэп} * (Q + q), \quad (16.18)$$

$$W_{пер} = t_{пер} * q, \quad (16.19)$$

$$W = W_{аэп} + W_{пер}, \quad (16.20)$$

где $W_{\text{аэр}}$ и $W_{\text{рег}}$ – объем соответственно аэротенка и регенератора, м^3 ; W – общий объем системы, м^3 .

Для системы аэротенка с регенератором расчетная продолжительность пребывания воды в системе составляет:

$$t = t_{\text{аэр}} (1 + \alpha) + t_{\text{рег}} * \alpha, \quad (16.21)$$

где α – количество возвратного ила, выраженное в долях.

Это время может быть определено также и из формулы (16.16) при значении a , равном средней концентрации ила $a_{\text{ср}}$ в сооружении, т. е.:

$$a_{\text{ср}} = (a_{\text{аэр}} * W_{\text{аэр}} + a_{\text{рег}} * W_{\text{рег}}) / W. \quad (16.22)$$

При проектировании двухступенчатых аэротенков расчеты ведут по формуле (16.16), при этом принимают, что в I ступени снимается 50 % загрязнений, а во II ступени оставшиеся 50 %.

Удельный расход воздуха D ($\text{м}^3/\text{м}^3$), при очистке в аэротенках определяют отношением расхода кислорода, требующегося для обработки 1 м^3 воды, к расходу используемого кислорода с 1 м^3 подаваемого воздуха:

$$D = (z * (L_a - L_t)) / (k_1 * k_2 * n_1 * n_2 * (C_p - C)), \quad (16.23)$$

где z – удельный расход кислорода, $\text{мг}/\text{мг}$ снятой БПК_{полн}; k_1 – коэффициент для учета типа аэратора; k_2 – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора; n_1 – коэффициент для учета температуры сточных вод, определяемый по формуле:

$$n_1 = 1 + 0,02 * (T - 20); \quad (16.24)$$

T – среднемесячная температура сточной воды за летний период, $^{\circ}\text{C}$; n_2 – коэффициент для учета изменения скорости переноса кислорода в иловой смеси по отношению к скорости его переноса в чистой воде (иначе, коэффициент качества воды, зависящий в основном от наличия в ней веществ, изменяющих поверхностное натяжение воды); C_p – растворимость кислорода в зависимости от глубины слоя воды h над аэратором, $\text{мг}/\text{л}$:

$$C_p = C_T * ((10,3 + (h/2)) / 10,3); \quad (16.25)$$

C_T – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и давления, $\text{мг}/\text{л}$, принимаемая по таблицам растворимости; C – допустимая минимальная концентрация растворенного кислорода в аэротенке, $\text{мг}/\text{л}$.

Для выяснения вопроса относительно численного значения коэффициента z были выполнены специальные исследования. Замер количества потребленного кислорода проводился в обоих случаях прямым способом по регистрации состава воздуха, поступающего в сооружение и выходящего из него. Эти исследования показали, что при очистке воды до БПК_{полн} 10÷15 мг/л количество потребленного кислорода равно снятой БПК_{полн} или больше на 10÷15 %. Если же процесс продолжается, то количество потребленного кислорода тем больше снятой БПК_{полн}, чем глубже процесс минерализации ила. Результаты этих работ дали основание принять величины z :

для полной очистки – 1,1 мг/мг;

для неполной очистки – 0,9 мг/мг;

для аэротенков с полной минерализацией ила – 2,2 мг/мг.

По найденным значениям D и t определяется интенсивность аэрации:

$$I_{\text{аэр}} = (D * H) / t, \quad (16.26)$$

где H – рабочая глубина аэротенка, м.

Определение прироста ила Pr (мг/л) в аэротенках всех систем при очистке городских сточных вод производится по формуле:

$$Pr = 0,8 * B + 0,3 * L_a, \quad (16.27)$$

где B – содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в аэротенки, мг/л.

Для аэротенков с полной минерализацией ила прирост ила принимается по формуле (16.27) с коэффициентом 0,7. При расчете илоуплотнителей и систем по перекачке ила прирост увеличивают на 30 % для учета сезонной неравномерности работы аэрационных сооружений.

Системы аэрации и конструкции аэротенков. Применительно к аэротенкам следует различать системы аэрации:

- 1) пневматическую;
- 2) механическую;
- 3) смешанную, или комбинированную.

Пневматическая аэрация. В зависимости от типа применяемых аэраторов различают мелко-, средне- и крупнопузырчатую

аэрацию. При мелкопузырчатой аэрации крупность пузырьков воздуха составляет $1 \div 4$ мм, при среднепузырчатой – $5 \div 10$ 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.

Наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора является фильтросная пластина размером 300×300 мм и толщиной 35 мм, изготавливаемая из шамота, который связан смесью жидкого стекла с мелкой шамотной пылью, или из кварцевого песка и кокса, которые связаны бакелитовой смолой. Фильтросные пластины обычно заделывают на цементном растворе в железобетонные каналы, устраиваемые на дне коридора аэротенка у стенки, вдоль длинной его стороны. Пластины укладывают обычно в два или три ряда для обеспечения подачи в аэротенк необходимого объема воздуха. Воздух подается по магистральным воздуховодам и стоякам в канал, перекрытый пластинами. Стояки располагаются через каждые $20 \div 30$ м.

В связи с необходимостью доочистки сточных вод в аэрируемых биологических прудах в последние годы разработаны конструкции подвижных механических аэраторов.

Механическая аэрация. Системы механической аэрации в азротенках известны давно, но широкое распространение они получили за последнее десятилетие. 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 азротенка.

Все механические аэраторы можно классифицировать следующим образом:

- 1) по принципу действия – импеллерные (кавитационные) и поверхностные;
- 2) по плоскости расположения оси вращения ротора с горизонтальной и вертикальной осью вращения;
- 3) по конструкции ротора – конические, дисковые, цилиндрические, колесные, турбинные и винтовые.

Наиболее широкое распространение из механических аэраторов получили аэраторы поверхностного типа, особенностью которых является незначительное погружение их в сточную воду и непосредственная связь ротора с атмосферным воздухом.

Смешанная, или комбинированная, система сочетает в себе элементы пневматической и механической аэрации. Наибольшее распространение из комбинированных аэраторов получили турбинные аэраторы. 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. Под нижней турбиной располагается перфорированное воздухораспределительное кольцо, в которое подается воздух от воздуходувки. Воздух выходит из кольца по периферии нижней турбины, благодаря действию которой он тонко диспергируется и хорошо перемешивается.

Известно, что при выпуске биологически очищенных сточных вод в водоем желательно иметь возможно большую концентрацию растворенного кислорода в этих водах. Это позволяет ускорить процессы самоочищения воды водоема и улучшить его кислородный режим.

Для насыщения сточной воды кислородом рекомендуется устройство на отводных каналах водосливов, перепадных колодцев, лотков Паршалля и др. Наблюдения показали, что в зависимости от конструкции перепадного устройства, величины перепада и концентрации растворенного кислорода в воде концентрация кислорода может быть повышена на 1÷3 мг/л.

16.3. Циркуляционные окислительные каналы

Начиная с 2000 года большое распространение для биологической очистки небольших объемов сточных вод находят циркуляционные окислительные каналы (ЦОК).

ЦОК обычно устраивают замкнутой O-образной формы в плане при расходе сточных вод до 200 м³/сутки. Они могут обеспечить полную биологическую очистку с БПК₅ и концентрацией взвешенных веществ в очищенных водах до 25 мг/л.

Перед поступлением в ЦОК сточная вода проходит решетку с прозорами размером 8 мм. Из ЦОК иловая смесь направляется в отстойник, откуда избыточный ил подается на иловые площадки, а возвратный ил – снова в ЦОК.

ЦОК следует проектировать на проточный режим. Иловая смесь в канале обычно аэрируется механическим роторным аэратором. Для очистки бытовых сточных вод объем канала определяется из условия $0,3 \text{ м}^3$ на одного жителя. Расчетная глубина канала равна 1 м, продолжительность пребывания воды составляет не менее 1,5 суток, а концентрация активного ила – 4 г/л.

Вторичный отстойник проектируют обычно вертикального типа с продолжительностью отстаивания равной 2 ч.

Площадь иловых площадок определяют из условия $0,38 \text{ м}^2$ на одного жителя.

Дренажные воды желательно направлять в ЦОК для очистки.

Наиболее стабильна работа ЦОК в южных районах Кыргызстана и в средней полосе России. Имеется опыт применения ЦОК для очистки сточных вод мясокомбинатов и кожевенных заводов.

16.4. Окситенки

Окситенк является высокоэффективным (принципиально новым) сооружением, служащим для осуществления интенсивного процесса биологической очистки сточных вод с применением чистого кислорода и высоких концентраций активного ила.

Конструктивно окситенк выполнен в виде резервуара круглой формы в плане с цилиндрической перегородкой, которая разделяет весь объем на зону аэрации (центральная часть) и илоотделитель (по периферии). В средней части цилиндрической перегородки устроены окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; в нижней части перегородки – окна для поступления возвратного ила в зону аэрации.

Зона аэрации оборудована герметическим перекрытием, на котором устанавливается электродвигатель турбоаэратора. На перекрытии смонтирован трубопровод подачи кислорода и продувочный трубопровод с электрораздвижками.

Илоотделитель оборудован перемешивающим устройством, представляющим собой радиально расположенные решетки из

вертикальных стержней $d = 30\text{--}50$ мм, расположенных друг от друга на расстоянии 300 мм. 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. Под воздействием скоростного напора, развиваемого турбоаэратором, иловая смесь через окна поступает в илоотделитель. Благодаря направляющим щиткам жидкость в илоотделителе медленно движется по окружности. В сочетании с перемешивающим устройством все это значительно интенсифицирует 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 опускается по спирали вниз и через окна поступает в камеру аэрации.

Окситенк оборудуется системой автоматизации, обеспечивающей подачу кислорода в зону аэрации в строгом соответствии со скоростью его потребления. Система автоматически поддерживает заданную концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси окситенка при любых изменениях состава, концентрации или расхода сточной воды.

Отличительными признаками окситенка являются высокая эффективность использования подаваемого кислорода, значительное сокращение общего объема сооружения в связи с двухцелевым использованием объемов илоотделителя, а также автоматическое регулирование подачи кислорода в соответствии со скоростью его использования.

В газовой смеси над поверхностью воды в зоне аэрации окситенка поддерживается высокое содержание кислорода. Благодаря этому стало возможным поддерживать высокие концентрации растворенного кислорода в иловой смеси при низких затратах электроэнергии на его растворение.

Высокая концентрация растворенного кислорода значительно увеличивает скорость окисления, и позволяет повысить дозу ак-

тивного ила в сооружении. Благодаря значительному запасу растворенного кислорода в иловой смеси, поступающей в илоотделитель, и ее перемешиванию в циркуляционной зоне одновременно и интенсивно протекают два процесса – биологическое окисление и разделение иловой смеси.

В зоне взвешенного фильтра также одновременно протекают два процесса – осветление очищенной воды и доокисление оставшихся органических веществ. Оптимальными параметрами технологического режима окисления при очистке сточных вод являются: концентрация растворенного кислорода $10 \div 12$ мг/л (в аэротенках $2 \div 4$ мг/л), доза ила $6 \div 8$ г/л (в аэротенках $2,5 \div 3$ г/л), период аэрации (включая пребывание в илоотделителе) $2,5 \div 3$ ч (в аэротенках $16 \div 20$ ч). Эффективность использования кислорода в окислителях $90 \div 95$ %.

При этом окислительная мощность окислителей выше, чем аэротенков в $5 \div 6$ раз; капитальные затраты меньше в $1,5 \div 2$ раза; эксплуатационные – в $2,5 \div 3$ раза.

Технологический расчет окислителей можно производить по формуле:

$$t = (L_a - L_t) / (\rho * C_{и} * K_{и}), \quad (16.28)$$

где t – период аэрации (средняя продолжительность пребывания сточных вод в зоне аэрации и в циркуляционной зоне илоотделителя), час; L_a – исходная БПК_{полн} сточной воды; L_t – БПК_{полн} очищенной воды; ρ – удельная скорость окисления, мг/(г*ч) при дозе ила 3 г/л; $C_{и}$ – концентрация активного ила по беззольному веществу, г/л; $K_{и}$ – коэффициент для учета влияния концентрации активного ила на его окислительную способность.

Массовый расход кислорода принимается равным величине снятой БПК_{полн} с коэффициентом 1,2.

Расчет механических аэраторов производится по общепринятым методикам с учетом парциального давления кислорода в газовой фазе окислителя.

16.5. Вторичные отстойники и илоуплотнители

Вторичные отстойники. Вторичные отстойники служат для задержания активного ила, поступающего вместе с очищенной

водой из аэротенков, или для задержания биологической пленки, поступающей с водой из биофильтров.

Вторичные отстойники бывают вертикальными, горизонтальными и радиальными. Для очистных станций небольшой пропускной способности обычно применяют вертикальные, а для больших и средних станций – горизонтальные и радиальные вторичные отстойники.

Вертикальные вторичные отстойники конструктивно не отличаются от первичных отстойников, но имеют меньшую высоту.

Расчет вертикальных отстойников состоит в определении их глубины и диаметра по заданным скоростям движения воды v и продолжительности отстаивания t , от которых зависит эффект задержания ила. Расчет вертикального отстойника производится по общеизвестным формулам:

$$h = v * t * 3600, \quad (16.29)$$

$$W = (Q * t * k_{\text{час}}) / 24, \quad (16.30)$$

$$F' = W / h, \quad (16.31)$$

где t – продолжительность отстаивания, ч; h – рабочая глубина отстойника, м; v – скорость движения воды, определяемая по графику, м/с; W – общий объем проточной части всех отстойников, м³; Q – расход воды, м³/сутки; $k_{\text{час}}$ – коэффициент часовой неравномерности водоотведения; F' – полезная площадь отстойника, м², равная $(F - f)$ (где F – полная площадь; f – площадь центральной трубы).

Продолжительность отстаивания сточной жидкости и максимальная скорость движения жидкости в горизонтальных, вертикальных и радиальных отстойниках принимаются в зависимости от назначения отстойника (таблица 16.3).

Центральную трубу рассчитывают на суммарный расход сточной воды q и активного ила $q_{\text{ил}}$ при скорости потока не более 30 мм/с; собственно отстойник – только на расход воды q , так как через рабочее сечение отстойника протекает только очищенная вода, а активный ил, поступающий вместе с водой, выпадает на дно и удаляется из отстойника.

Нижняя часть отстойников устраивается пирамидальной или конусной для того, чтобы ил хорошо сползал вниз; уклон стенок

этой части должен быть не менее 50° (для пирамидальных) и 45° (для конусных).

Таблица 16.3 – Исходные данные для расчета вторичных отстойников

Назначение отстойников	Продолжительность оттаивания жидкости t при максимальном притоке, час		Максимальная скорость движения жидкости, мм/с	
	Отстойник			
	горизонтальный и радиальный	вертикальный	горизонтальный и радиальный	вертикальный
После капельных биофильтров	0,75	0,75	5	0,5
После высоконагружаемых биофильтров	0,5	0,5	5	0,5
После аэротенков на неполную очистку при снижении БПК ₂₀ , %:				
до 50	0,75	0,75	7	0,7
до 80	1	1	5	0,5
После аэротенков на полную очистку	1,5	1,5	5	0,5

Между проточной (рабочей) частью отстойника и иловой его частью необходимо предусматривать нейтральный слой высотой 0,5 м.

В тех случаях, когда нижний срез центральной трубы размещается в воронкообразной части отстойника, необходимо, чтобы в его сечении на уровне выхода воды из трубы скорость подъема жидкости не превышала 0,8÷0,9 мм/с. Величину зазора между отражательным щитом и центральной трубой назначают с таким расчетом, чтобы скорость паточка в этом кольцевом сечении была не более 15 мм/с.

Осадок из вторичных отстойников удаляют под гидростатическим напором: для отстойников после капельных и высоконагружаемых биофильтров – не менее 1,2 м, а для отстойников после аэротенков – не менее 0,9 м.

Объем иловой камеры принимают равным объему выпадающего осадка: для вторичных отстойников после биофильтра – за период не более 2 суток, а для вторичных отстойников после аэротенков – не более 2 ч. Диаметры иловых труб для удаления ила или биопленки из отстойников следует принимать по расчету, но не менее 200 мм.

На крупных очистных станциях большое распространение получили радиальные вторичные отстойники.

Продолжительность отстаивания в зависимости от величины допустимого выноса взвешенных веществ для городских сточных вод, можно определить по таблице 16.4.

Менее точные результаты дает расчет по нагрузкам на зеркало воды в отстойнике. Однако при расширении очистной станции, когда имеются эксплуатационные данные о допустимой нагрузке, этот метод рекомендуется в качестве основного. Обычно расчетную нагрузку принимают равной $1,2 \div 1,6 \text{ м}^3$ на 1 м^2 площади зеркала воды.

Таблица 16.4 – Вынос взвешенных веществ, мг/л, из вторичных отстойников

Продолжительность отстаивания, час	Вынос взвешенных веществ при БПК очищенной воды, мг/л					
	15	20	25	50	75	100
0,50	25	31	38	75	96	110
0,75	21	27	33	66	86	100
1,00	18	24	29	59	78	93
1,50	15	20	25	51	70	83

Проектный институт «Мосводоканалниипроект» разработал типовые вторичные радиальные отстойники из сборного железобетона (таблице 16.5).

Илоуплотнители. Осаждающийся во вторичных отстойниках активный ил имеет высокую влажность ($99,2 \div 99,5 \%$). Основная часть этого ила поступает на регенерацию и снова подается в аэротенк; этот ил называют рециркуляционным. Так как в результате деятельности микроорганизмов масса активного ила непрерывно увеличивается, то образуется так называемый избы-

точный активный ил, который отделяется от рециркуляционного и направляется на дальнейшую переработку (в метантенки, на обезвоживающие установки, а также для использования в сельском хозяйстве).

Таблица 16.5 – Основные расчетные параметры типовых вторичных радиальных отстойников

Диаметр отстойника, м	Гидравлическая глубина отстойника, м	Глубина зоны отстаивания, м	Высота иловой зоны, м	Диаметр трубопровода, мм		Объем зоны, м ³		Расчетная пропускная способность м ³ /час при T = 1,5 час
				подводящего	отводящего	иловой	отстойной	
18	3,7	3,1	0,6	800	500	160	788	525
24	3,7	3,1	0,6	1200	700	280	1400	933
30	3,7	3,1	0,6	1400	900	440	2190	1460
40	4,35	3,65	0,7	2000	1200	915	4580	3053
50	5,3	4,6	0,7	2500	2000	1380	9020	5989

Направлять в метантенки огромную массу избыточного активного ила с высокой влажностью нерентабельно, поэтому его предварительно уплотняют. Применяемые для этого сооружения называются илоуплотнителями. Устройство илоуплотнителей на современных станциях аэрации обязательно.

Прирост активного ила зависит от содержания в очищаемой воде взвешенных и растворенных (преимущественно органических) веществ и от эффективности работы первичных отстойников. Чем лучше работают первичные отстойники, тем меньше образуется излишков активного ила. Массу избыточного активного ила на станциях аэрации на полную очистку рекомендуется принимать по таблице 16.6.

Для определения содержания избыточного активного ила Р, мг/л, можно также пользоваться формулой, предложенной А.А. Карпинским:

$$P = \alpha * B - b, \quad (16.32)$$

где α – коэффициент, принимаемый равным при работе аэротенков на полную очистку 1,25÷1,35 (в среднем 1,3) и на неполную

очистку $1 \div 1,2$ (в среднем 1,1); V – вынос взвешенных веществ из первичных отстойников, мг/л; b – вынос активного ила из вторичных отстойников, мг/л.

Таблица 16.6 – Масса избыточного активного ила в зависимости от степени очистки сточной жидкости

БПК ₂₀ очищенной жидкости при полной очистке, г/м ³	Масса избыточного активного ила, г сухого вещества на 1 м ³ жидкости	БПК ₂₀ очищенной жидкости при частичной очистке, г/м ³	Масса избыточного активного ила, г сухого вещества на 1 м ³ жидкости
15	160	50	170
20	200	60	190
25	220	70	210
		80	220

Прирост активного ила колеблется в течение года, уменьшаясь в летние месяцы. Максимальное его содержание $P_{\text{макс}}$, мг/л, определяется по формуле

$$P_{\text{макс}} = K * P, \quad (16.33)$$

где K – коэффициент месячной неравномерности прироста ила, равный $1,15 \div 1,2$.

Активный ил уплотняют либо в специально выделенных вертикальных или радиальных отстойниках, либо во вторичных отстойниках (куда поступает смесь очищенной сточной воды с активным илом). Вертикальные илоуловители – обычные вертикальные отстойники – применяются только на станциях, работающих на неполную очистку, где образуется более тяжелый ил.

Расчет илоуплотнителя ведется на максимальный часовой приток избыточного активного ила, м³/ч:

$$q_{\text{макс}} = (P_{\text{макс}} * Q) / 24 * C, \quad (16.34)$$

где $P_{\text{макс}}$ – содержание избыточного активного ила, г/м³; Q – расход сточных вод, м³/сутки; C – концентрация уплотненного избыточного активного ила, г/м³.

Высота проточной части (отстойной) илоуплотнителя, м:

$$h_{\text{проточ}} = 3,6 * v * t, \quad (16.35)$$

где v – скорость движения жидкости, мм/с; t – продолжительность уплотнения, ч.

Полезная площадь поперечного сечения илоуплотнителя определяется по формуле:

$$F_{\text{пок}} = q_{\text{ж}} / 3,6 * v, \quad (16.36)$$

где $q_{\text{ж}}$ – максимальное количество жидкости, $\text{м}^3/\text{ч}$, отделяемой в процессе уплотнения ила:

$$q_{\text{ж}} = q_{\text{макс}} * (p_1 - p_2) / (100 - p_2), \quad (16.37)$$

где p_1 – влажность поступающего ила, равная 99,2 %; p_2 – влажность уплотненного ила, равная при полной биологической очистке 98 % и при неполной биологической очистке 95 %.

Площадь поперечного сечения центральной трубы, м^2 :

$$f_{\text{тр}} = q_{\text{макс}} / (3600 * v_{\text{тр}}), \quad (16.38)$$

где $v_{\text{тр}}$ – скорость движения жидкости в вертикальной трубе, равная 0,1 м/с.

Общая площадь илоуплотнителя, м^2 :

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{полн}} + f_{\text{тр}}, \quad (16.39)$$

а диаметр одного илоуплотнителя, м:

$$D = ((4 * F_{\text{общ}}) / (\pi * n))^{1/2}, \quad (16.40)$$

где n – принятое число илоуплотнителей.

Минимальное число илоуплотнителей принимают $n = 2$, наибольший диаметр илоуплотнителя $D = 10$ м.

Объем иловой части илоуплотнителя определяется по формуле:

$$W = q_{\text{макс}} * ((100 - p_1) / (100 - h_2)) * (t_{\text{ил}} / n), \quad (16.41)$$

где $t_{\text{ил}}$ – продолжительность пребывания ила в иловой части при выгрузке его один раз в смену, принимаемая равной 8 ч.

Для обеспечения сползания осевшего ила в иловую коническую часть илоуплотнителя угол наклона образующей должен быть не менее 50° .

Общая высота илоуплотнителя (м) определяется по формуле:

$$H = h + h_{\text{к}} + h_{\text{н}} + h_{\text{ц}} + h_{\text{в}}, \quad (16.42)$$

где h – высота проточной части, м; $h_{\text{к}}$ – высота конической части отстойника, м; $h_{\text{н}}$ – высота нейтральной части, равная $0,3 \div 0,5$ м; $h_{\text{ц}}$ – расстояние между центральной трубой и отражательным щитом, равное 0,5 м; $h_{\text{в}}$ – расстояние от уровня воды в илоуплотнителе до верха сооружения, равное 0,3 м.

Применение вертикальных илоуплотнителей для активного ила после полной биологической очистки из-за их неудовлетворительного эффекта работы (до 98 % влажности) не рекомендуется. В этом случае лучше применять радиальные илоуплотнители. Опыт их эксплуатации на Курьяновской и Люблинской станциях аэрации (г. Москва) показал, что уплотненный ил имеет влажность до 97 %.

Полезная площадь поперечного сечения радиального илоуплотнителя, m^2 , определяется по формуле:

$$F_{\text{пол}} = q_{\text{макс}} / q_0, \quad (16.43)$$

где $q_{\text{макс}}$ – максимальный расход поступающего в сооружение активного ила, $m^3/ч$; q_0 – расчетная нагрузка на площадь зеркала уплотнителя, $m^3/(m^2 \cdot ч)$, принимаемая в зависимости от концентрации поступающего на уплотнение активного ила: при $C = 2 \div 3$ г/л – $q_0 = 0,5$, а при $C = 5 \div 8$ г/л – $q_0 = 0,3$.

Диаметр илоуплотнителя определяется по формуле (16.40).

Высота рабочей зоны илоуплотнителя определяется по формуле:

$$H = q_0 * t, \quad (16.44)$$

где t – продолжительность уплотнения, принимается равной: при концентрации $C = 2 \div 3$ г/л – $t = 5 \div 8$ час, а при концентрации $C = 5 \div 7$ г/л – $t = 10$ ч.

Общая высота илоуплотнителя (м) определяется по формуле:

$$H_{\text{общ}} = H + h + h_v, \quad (16.45)$$

где H – высота рабочей зоны, м; h – высота зоны залегания ила и расположения илоскреба или илососа, м (при оборудовании илоскребом $h = 0,3$ м, при оборудовании илососом $h = 0,7$ м); h_v – расстояние от уровня жидкости до верха сооружения, м.

Ил должен удаляться непрерывно. Частоту вращения илоскреба принимают $0,75 \div 4$ $ч^{-1}$, а илососа – 1 $ч^{-1}$.

Уклон дна илоуплотнителя принимают при оборудовании илососом $i = 0,003$ от центра к периферии, а при оборудовании илоскребом $i = 0,01$ – от периферии к приемку.

При проектировании радиальных илоуплотнителей, отношение диаметра к глубине следует принимать равным $6 \div 7$.

Уплотненный ил должен выпускаться непрерывно под гидростатическим напором $0,5 \div 1$ м через водослив с порогом переменной высоты.

Илоуплотнители рекомендуется располагать в высотном отношении так, чтобы сливная вода из них могла быть подана в аэротенки самотеком.

17. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ НАСЫЩЕНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КИСЛОРОДОМ. ВЫПУСК ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОЕМ

17.1. Обеззараживание сточных вод

Обеззараживание (дезинфекция) сточных вод производится для уничтожения содержащихся в них патогенных микробов и устранения опасности заражения водоема этими микробами при спуске в него очищенных сточных вод. Патогенные микробы не могут быть полностью удалены ни при отстаивании, ни при искусственной биологической очистке сточных вод.

Работами С.Н. Черкинского и Л.Б. Доливо-Добровольского показано, что патогенные бактерии кишечной группы обнаруживаются в очищенной воде даже тогда, когда содержание кишечных палочек уменьшается на 99 %. В сооружениях искусственной биологической очистки (в биофильтрах и аэротенках) устраняется от 91 до 98 % таких бактерий.

Поэтому после механической и искусственной биологической очистки до спуска в водоем требуется обеззараживание сточной воды. Оно может быть эффективно только в том случае, когда в воде не содержатся взвешенные вещества. Эффективность обеззараживания, определяемая по концентрации бактерий *Coli*, должна достигать практически 100 %.

Надежными способами устранения бактерий являются почвенные методы биологической очистки (на полях орошения и полях фильтрации), которые при условии нормальной нагрузки на поля обеспечивают высокий эффект (до 99,9 %). В этих случаях дезинфекция, как правило, не требуется.

Согласно действующим «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», сточная вода не должна содержать возбудителей заболеваний. Ввиду сложности непосредствен-

ного определения содержания патогенных бактерий в сточных водах обычно применяют метод оценки эффективности их обеззараживания по титру кишечной палочки. По А.А. Смородинцеву, обеззараживание сточных вод может быть признано достаточным, если коли-титр в них будет доведен до 0,001.

Дезинфекция сточных вод может производиться различными способами, но наибольшее распространение получило хлорирование, т. е. введение в сточную воду определенного количества хлора, хлорной извести или гипохлорита натрия. Сущность обеззараживающего действия хлора заключается в окислении и инактивации ферментов, входящих в состав протоплазмы клеток бактерий, в результате чего последние погибают.

Бактерицидный эффект хлора в значительной степени зависит от начального его количества в воде и продолжительности контакта с водой. Количество активного хлора, вводимого при дезинфекции на единицу объема сточных вод, называют дозой хлора, выражаемой в мг/л или г/м³. Жидкий хлор в воде растворяется плохо, поэтому применяют хлор-газ. Взаимодействие газообразного хлора с водой протекает с выделением соляной HCl и хлорноватистой HOCl кислот по уравнению:

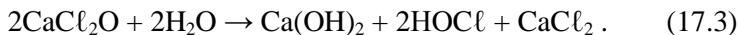


Хлорноватистая кислота частично ионизирована. Ионизация ее повышается с повышением pH среды. Так, например, при pH≈7 хлорноватистая кислота ионизирована на 20 %. Наличие в воде хлорноватистой кислоты HOCl и особенно гипохлорит-иона OCl⁻ создает при известных концентрациях такие условия, в которых микробы погибают. Хлорноватистая кислота не устойчива и легко распадается, образуя соляную кислоту и выделяя атом кислорода:



Кислород этот окисляет бактерии. Кроме того, при хлорировании сточной воды собственно хлор непосредственно действует на бактериальную клетку и, соединяясь с веществами, входящими в ее протоплазму, вызывает гибель бактерий.

Если вместо газообразного хлора производить дезинфекцию хлорной известью, то при взаимодействии ее с водой образуются хлорид кальция, хлорноватистая кислота и известь:



Процесс обеззараживания происходит так же, как и при использовании газообразного хлора. Для эффективного обеззараживания хлор должен быть хорошо перемешан с дезинфицируемой водой и находиться определенное время в контакте с ней.

Контакт хлора со сточной водой осуществляется в сооружениях, называемых контактными (дезинфекционными) резервуарами, и должен продолжаться не менее 30 мин (с учетом времени движения хлорированных вод в лотках и трубах до спуска в водоем).

Необходимость дезинфекции сточных вод и доза хлора устанавливаются органами Государственного санитарного надзора по данным бактериологических анализов и по показателю хлоропоглощаемости сточной воды – величине наибольшей дозы хлора в мг/л, при введении которой после 30-минутного контакта остается избыточного хлора $0,5 \div 1$ мг/л. При повышении дозы избыточного хлора от 1 до 1,5 мг/л бактерии погибают быстрее.

Контроль за хлорированием сточной воды осуществляется проверкой фактического количества израсходованных реагентов по массе, и определением избыточного хлора в воде после контакта ее с хлором.

Состав очищенной сточной воды непостоянен, поэтому нужно регулярно следить за содержанием избыточного хлора и поддерживать его в пределах заданной величины. Определение избыточного хлора в сточной воде производится йодометрическим методом.

Согласно требований норм и правил, в проектах для предварительных расчетов дозы активного хлора следует принимать:

- а) для сточной воды после механической очистки 10 г/м^3 ;
- б) для неполностью очищенной сточной воды в аэротенках или в высоконагружаемых биофильтрах 5 г/м^3 ;
- в) для полностью очищенной сточной воды 3 г/м^3 .

Дезинфекция больших масс воды, как правило, осуществляется хлор-газом; при малых количествах сточных вод (до $1000 \text{ м}^3/\text{сутки}$) применяется хлорная известь.

Дезинфекция хлорной известью и гипохлоритом кальция. На очистных сооружениях пропускной способностью до $1000 \text{ м}^3/\text{сутки}$ для дезинфекции допускается применение хлорной

известии, а также гипохлорита кальция. В связи с небольшим содержанием активного хлора в хлорной извести, быстрой потерей из нее хлора, а главное с большой трудоемкостью приготовления, хлорная известь является неперспективным реагентом.

За последние годы заводы химической промышленности начали выпускать гипохлорит кальция с содержанием активного хлора вдвое больше, чем в хлорной извести (60÷70 %). Этот продукт заменяет хлорную известь и успешно используется. Процесс обеззараживания сточной воды гипохлоритом кальция аналогичен процессу обеззараживания хлорной известью.

Учитывая, что гипохлорит кальция является взрывоопасным веществом, его нельзя загрязнять маслами и органическими веществами, располагать барабаны с ним вблизи огня. При транспортировании и переноске барабанов с гипохлоритом нельзя допускать их падения. На складе гипохлорита кальция необходимо иметь комплект противопожарных средств.

Дезинфекция хлором, гипохлоритом натрия и озоном. Сточную воду хлорируют газообразным хлором, так как жидкий хлор плохо растворяется в воде. При этом дозирование и введение хлора в обрабатываемую воду, регулирование подачи хлора из баллонов или бочек газа высокого давления, измерение расхода газа при контролируемом давлении, растворение газа в рабочей (чистой воде) для получения хлорной воды заданной концентрации (обычно 0,1÷0,2 % или 1÷2 г хлора в 1 л воды) осуществляется с помощью специального аппарата – хлоратора. Хлор к аппаратам подводится трубами из баллонов, контейнеров или бочек.

Производительность хлоратора $g_{\text{хл}}$ кг/ч, определяется по расходу хлора по формуле:

$$g_{\text{хл}} = (D_{\text{хл}} * Q) / 1000, \quad (17.4)$$

где $D_{\text{хл}}$ – доза хлора, устанавливаемая в зависимости от метода очистки воды, г/м³; Q – количество очищаемой воды, м³/ч.

Хлораторы бывают различных типов, мощности и назначения. Типы хлораторов, выпускаемые Российской Федерацией, разделяются на приборы непрерывного и порционного действия, на стационарные и переносные, на напорные и вакуумные, на автоматические и электроручного регулирования.

Хлораторы порционного действия обычно представляют собой переносные аппараты, приспособленные для периодического использования. Предназначены они для хлорирования небольших объемов воды.

Хлораторы непрерывного действия в основном являются стационарными аппаратами. Наиболее эффективными из них являются вакуумные, в которых дозируемый газ находится под разрежением. Это предотвращает проникание газа в помещение, что возможно при напорных хлораторах. Вакуумные хлораторы имеются двух типов: с жидкостным (дифманометром) и газовым измерителем расхода хлора (ротаметром).

Вакуумные хлораторы производительностью $5\div 50$ кг/ч устанавливаются с автоматическими дозаторами хлора. Установки для обеззараживания жидким хлором при суточном его расходе до 120 кг проектируются с отбором хлора из стандартных стальных баллонов вместимостью $30\div 55$ л. Хлор находится в них под давлением до 3 МПа.

Баллон снабжен сифонной трубкой, опущенной почти до его дна; через эту трубку хлор выходит из баллона. Так как в хлоратор должен подаваться только газообразный хлор, хлоропровод, идущий к дозатору, присоединяют к промежуточному баллону. Он представляет собой обычный стандартный баллон с вентилями для впуска жидкого и выпуска газообразного хлора. Жидкий хлор, поступающий в промежуточный баллон, попадает на его дно (вместе с возможными загрязнениями) и, испаряясь, в виде газа уходит через фильтр и выпускной вентиль к дозатору хлора.

Подача хлора из одного баллона без подогрева не должна превышать $0,5\div 0,7$ кг/ч (во избежание замерзания хлора). Поэтому при большом расходе хлора отбор его производят из нескольких баллонов или специальных баллонов-испарителей большей вместимости.

При пропускной способности станции 40000 м³/сутки и выше в качестве испарителей применяют контейнеры и бочки вместимостью 400 и 1000 кг. Съем хлора из контейнеров при температуре $+15$ °С составляет $10\div 30$ кг/ч.

Хлораторная должна быть оборудована водопроводом. Давление в водопроводе, питающем эжектор хлоратора, должно быть

не меньше 0,25 МПа. Расход воды, подаваемой к эжектору, составляет 1,4 м³/ч, а к бачку хлоратора – 0,4÷0,7 м³/ч. Все процессы при хлорировании необходимо автоматизировать.

Вентиляция хлораторной предусматривается общеобменная с 12-кратным обменом воздуха в 1 ч, осуществляемым двумя центробежными вентиляторами. Вентиляция включается за 5÷10 мин до входа обслуживающего персонала в хлораторную и продолжается в течение всего времени пребывания работающих в помещении.

Загрязненный воздух отсасывается из нижней зоны через подпольные каналы с решетками и выбрасывается в атмосферу через шахту, возвышающуюся на 5 м над крышей здания. Отметка выброса воздуха согласовывается с органами Государственного санитарного надзора при проектировании.

Приток воздуха обеспечивается вентилятором на высоте 2,25 м от уровня пола. В зимнее время приточный воздух подогревается калориферами. В помещении хлораторной поддерживается температура +15 °С.

Хлораторная и расходный склад имеют самостоятельные входы и разделены между собой глухой капитальной газонепроницаемой стеной. Склады хлора также оборудуются вытяжной искусственной вентиляцией с 12-кратным обменом воздуха. В складах хлораторной предусматриваются кран-балки грузоподъемностью 1 т или электрические тали грузоподъемностью 1 т, служащие для загрузки и перемещения баллонов или бочек внутри склада. В складе хлора следует предусматривать резервные емкости. Для поврежденных баллонов необходимо иметь специальные футляры.

Параметры типовых хлораторных для обеззараживания сточных вод хлором, приведены в таблице 17.1.

Для расходов сточных вод более 1400 и до 280000 м³/сутки применяют смесители типа «Лоток Паршала». Этот смеситель состоит из подводящего раструба, горловины и отводящего раструба. Боковые стенки горловины строго вертикальны, а дно имеет уклон в сторону движения воды. В результате сужения сечения и резкого изменения уклона дна в отводящем раструбе образуется гидравлический прыжок, в котором происходит интенсивное перемешивание хлорной воды со сточной.

Таблица 17.1 – Основные параметры типовых хлораторных

Производительность хлораторной, кг/ч	Вместимость склада хлораторной, т	Тара для доставки жидкого хлора
2	1,1	Баллоны
5	3,6	Баллоны
10	8	Контейнеры
30	25	Контейнеры
50	30	Железнодорожные цистерны с розливом в контейнеры на базисных складах
100	42	Железнодорожные цистерны с розливом в контейнеры на базисных складах

При хлорировании сточной воды чрезвычайно большое значение имеет правильная организация охраны труда и техники безопасности. Для безопасности обслуживающего персонала при хлорировании должна быть обеспечена безотказная работа вентиляции, достаточное и надежное уплотнение соединений в баллонах и дозаторах, наличие защитных средств (противогазы, резиновые перчатки и пр.), обслуживающий персонал должен изучить и точно выполнять инструкции по технике безопасности.

При обеззараживании сточных вод может применяться метод электролиза, признанный в настоящее время одним из наиболее перспективных. Обеззараживание при электролизе сточной воды достигается комплексным воздействием на микроорганизмы гипохлорита натрия, электрического и магнитного полей, некоторых активных радикалов.

Основными способами обеззараживания при электролитическом методе являются: электролиз сточной жидкости без добавления к ней хлорсодержащих веществ; электролиз смеси сточных вод с добавлением морской воды или раствора поваренной соли; электролиз морской воды или раствора поваренной соли и введение получаемых при этом продуктов электролиза в сточную воду.

Достаточный эффект обеззараживания очищенной сточной воды гипохлоритом натрия наступает обычно при концентрации

его от 1,5 до 3,5 мг/л (в зависимости от хлоропоглощаемости); содержание избыточного хлора при этом равно $0,3 \div 0,5$ мг/л. Эффект обеззараживания сточной воды зависит от температуры лишь при введении малых доз гипохлорита натрия. Высокие дозы его нивелируют влияние температуры. Продукты электролиза в некоторой степени способствуют коагуляции и осаждению взвешенных веществ.

При использовании гипохлорита натрия обеззараживающий эффект, технологические показатели качества обрабатываемой воды и методы контроля такие же, как и при применении хлора или хлорной извести. На станции устанавливают до $4 \div 5$ параллельно работающих электролизных установок, из которых одна резервная.

Весьма перспективным является способ обеззараживания очищенных сточных вод методом озонирования. К его преимуществам относятся: улучшение цветности и устранение неприятных запахов обрабатываемой воды; отсутствие необходимости в транспортировании дезинфектантов и их хранении, так как озон вырабатывается на месте; дозирование озона не требует такой тщательности, как дозирование хлора.

Обеззараживающее действие озона основано на его высокой окислительной способности, обусловленной легкостью отдачи им активного атома кислорода: $O_3 = O_2 + O$. Благодаря высокому окислительному потенциалу озон энергично вступает во взаимодействие со многими минеральными и органическими веществами, в том числе и с плазмой микробных клеток.

Озон действует на бактерии быстрее хлора и применяется в дозах $0,5 \div 5$ мг/л в зависимости от содержания в воде веществ, способных окисляться. Исследования показали, что после озонирования количество бактерий уменьшается в среднем на 99,8 %. Спорообразующие бактерии более устойчивы по отношению к озону, чем вегетативные.

К недостаткам метода озонирования относится необходимость применения сложного оборудования для получения озона, что определяет высокую себестоимость обеззараживания сточных вод.

Для обеззараживания очищенных сточных вод могут применяться также ультразвуковые колебания или облучение бактери-

цидными (ультрафиолетовыми.) лучами. Последний способ требует предварительного максимального освобождения очищенных сточных вод от взвешенных веществ, которые снижают эффективность действия лучей. Высокий эффект обеззараживания достигается при обработке коагулянтами и флокулянтами сточной воды, прошедшей биохимическую очистку. С помощью сернокислого алюминия или хлорида железа в сочетании с полиэлектrolитами достигается удаление вирусов на 90÷ 95 %, мутность при этом снижается на 90 %.

17.2. Контактные резервуары

Контактные резервуары предназначены для обеспечения контакта хлора или другого дезинфицирующего реагента со сточной водой. В качестве контактных резервуаров применяют горизонтальные отстойники без скребков с уклоном днища 0,05 и вертикальные отстойники.

Продолжительность контакта хлора со сточной водой принимают 30 мин при максимальном расчетном ее притоке. При этом учитывается и то время, в течение которого вода контактирует с хлором, находясь в каналах и трубах, отводящих ее в водоем.

При дезинфекции сточной воды хлором происходит частичная коагуляция мелких взвешенных частиц и осаждение их в контактных резервуарах. Поэтому величину скорости движения воды в контактных резервуарах принимают с таким расчетом, чтобы обеспечить возможно малый вынос из них взвешенных веществ. Обычно она не превышает скорости движения во вторичных отстойниках.

При очистке сточных вод на биофильтрах и аэрофильтрах, вынос нерастворенных примесей из которых весьма велик, контактные резервуары следует устанавливать после вторичных отстойников. Количество осадка, выпадающего в контактных резервуарах, зависит от вида дезинфектанта, его дозы и от степени предварительной очистки сточных вод.

При дезинфекции жидким хлором сточных вод объем осадка после механической очистки составляет 0,08 л, после полной биологической очистки в аэротенках – 0,03 л, на биофильтрах –

0,05 л на одного человека в сутки; при дезинфекции хлорной известью количество осадка получается в два раза больше. Влажность осадка в среднем составляет 96 %.

Удаление осадка из контактных резервуаров производится под гидростатическим давлением. Обезвоживание осадка может производиться без его предварительного сбраживания.

Конструкция и протяженность сборных водосливов оказывают существенное воздействие на гидродинамические условия в резервуаре. Снижение удельной нагрузки на кромку водослива улучшает равномерность потока. По сравнению с поперечными перегородками в контактном резервуаре более эффективны продольные перегородки. Оптимальные для контактных резервуаров условия «идеального» вытеснения достигаются при отношении длины резервуара к его ширине более 40:1. Этому условию удовлетворяют прямоугольные многокоридорные и кольцевые контактные резервуары. Дополнительное отстаивание сточной воды в контактных резервуарах приводит к выделению ила и тем самым повышает общую степень очистки воды.

Выпавший в осадок ил удаляется из контактных резервуаров и направляется в метантенки на сбраживание. Подача осадка, содержащего хлор, в метантенки может привести к частичной гибели микрофлоры метантенков. Если осадка много и такая опасность становится вполне реальной, его направляют, минуя метантенки, непосредственно на иловые площадки для подсушки или же в начало системы очистных сооружений на повторный цикл очистки.

17.3. Выпуски очищенных сточных вод в водоемы

Для спуска очищенных сточных вод в водоемы применяют два типа выпусков: береговые и русловые.

Береговые выпуски подразделяются на затопленные и незатопленные. Для затопленных береговых выпусков устраиваются береговые колодцы с выходом сточных вод под уровень воды в водоеме. Незатопленные береговые выпуски в соответствии с положениями гидравлики, рассматриваются как соединение потоков под различным углом слияния.

Строительная стоимость береговых выпусков ниже стоимости русловых. Однако в створе выпуска достигается незначительное первоначальное смешение потоков, и, следовательно, на практике они могут быть применены только для спуска стоков с концентрацией загрязнений, не влияющих на санитарное состояние водоема.

Русловые выпуски располагаются на определенном расстоянии от берега. Эти выпуски подразделяются на сосредоточенные, рассеивающие и эжекторные. Выбор конструкции руслового выпуска зависит от санитарных требований к разбавлению сточных вод в водоеме, кроме того, от гидравлической структуры потока, морфологии русла и от геодезической отметки уровней воды в береговом колодце и в реке.

Применение сосредоточенных русловых выпусков возможно или при разбавлении стоков перед выпуском (при подаче воды из водоема насосами в береговые контактные резервуары до концентрации загрязнений в смеси, близкой по количественным показателям к нормативной), или если разбавление по пути до расчетного створа достаточно, т. е. концентрация загрязнений в расчетном створе будет соответствовать нормативной.

Для сброса сточных вод в реки всегда целесообразно применять рассеивающие выпуски, а для сброса сточных вод в непроточные водоемы конструкцию выпуска и место его расположения в водоеме следует определять технико-экономическим расчетом.

Если плотность стоков $\rho_{ст}$ выше плотности воды $\rho_в$ в водоеме, следует применять высоконапорные распределители, способствующие распространению стоков на всю глубину.

Если плотность стоков $\rho_{ст}$ меньше плотности воды в водоеме $\rho_в$, следует применять низконапорные распределители с расположением отверстий под минимальным углом к горизонту ($5 \div 10^\circ$).

На основании исследований института «ВНИИ ВОДГЕО» можно рекомендовать следующие выпуски с оголовками: цилиндрическим; открытым рассеивающим; русловым рассеивающим с эжекторными насадками.

18. ОБЩИЕ СХЕМЫ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

18.1. Выбор площадки для очистных сооружений и способов очистки сточных вод

Выбор площадки для строительства очистных сооружений производится в увязке с проектом планировки и застройки объектов в которых планируется проектирование и строительство системы водоотведения с учетом наиболее выгодных решений внешних коммуникаций (железной и автомобильной дорог, водо-, газо-, тепло- и электроснабжения очистной станции).

Площадка для строительства очистных сооружений располагается, как правило, с подветренной стороны для господствующих ветров теплого периода года по отношению к жилой застройке и ниже города по течению реки. Площадка должна иметь уклон, обеспечивающий самотечное движение сточной воды по очистным сооружениям и отвод дождевых вод.

Грунты площадки должны допускать строительство сооружений без устройства дорогостоящих оснований. Площадку, как правило, надлежит выбирать на территории, незатапливаемой паводковыми водами, с низким уровнем грунтовых вод.

Очистные сооружения отделяются от границ застройки санитарно-защитными зонами (разрывами), размеры которых приведены в таблице 18.1.

Состав очистных сооружений выбирают в зависимости от требуемой степени очистки сточной воды, производительности очистной станции, особенностей состава поступающей на очистную станцию сточной воды, метода использования осадка и от других местных условий в соответствии с нормами проектирования очистных сооружений и технико-экономическими расчетами.

Местоположение отдельных сооружений и планировка очистной станции должны обеспечивать наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод и обработки осадка и рациональное использование территории. При этом решения по планировке и компоновке сооружений должны учи-

тывать не только расчетный период, но и дальнейшее перспективное развитие очистной станции.

Таблица 18.1 – Санитарно-защитные зоны для сооружений городской системы водоотведения

Сооружения	Разрывы, м, при расчетной пропускной способности, тыс. м ³ /сутки			
	до 0,2	от 0,2 до 5	от 5 до 50	от 50 до 280
Механическая очистка с иловыми площадками для сброженных осадков	150	200	400	500
Искусственная биологическая очистка с иловыми площадками для сброженных осадков	150	200	400	500
Поля фильтрации	200	300	500	1000
Поля орошения	150	200	400	1000
Биологические пруды	200	200	-	-
С циркуляционными окислительными каналами	150	-	-	-
Насосные станции	15	20	20	30

Применение полей орошения или полей фильтрации обусловливается не только наличием земельных участков, климатическими условиями и характером грунтов, но и рельефом участков и их отдаленностью. Устройство полей фильтрации при значительных расходах сточных вод вообще нецелесообразно ввиду их высокой стоимости и необходимости иметь большие площади, использование которых малоэффективно.

Компоновка и взаимное расположение сооружений производится с учетом:

а) возможности строительства по очередям и расширения в связи с увеличением притока сточных вод;

б) обеспечения минимальной протяженности внутристанционных коммуникаций (лотков, каналов, дюкеров, трубопроводов и пр.);

в) доступности для ремонта и обслуживания.

Сооружения располагаются по естественному уклону местности. Взаимное их высотное расположение устанавливается

с учетом расчетных потерь напора в сооружениях, соединительных коммуникациях и измерительных устройствах.

При разработке проектов очистных станций рекомендуется рассматривать варианты объединения сооружений (блокировки) и укрупнения их размеров с целью уменьшения числа эксплуатационных единиц. Например, объединяются: решетки, котельная и материальный склад; преаэраторы с первичными отстойниками; первичные отстойники, аэротенки и вторичные отстойники; хлораторная и склад хлора; воздуходувная, иловая насосная станция и мастерские; контора и лаборатория; санпропускник и прачечная для рабочей одежды.

Сооружения для очистки сточных вод проектируются, как правило, открытыми.

В составе очистной станции предусматриваются:

а) устройства для равномерного распределения сточных вод между отдельными элементами очистных сооружений (обязательны распределительные чаши или камеры перед отстойниками и метантенками с непрерывной загрузкой; перед аэротенками может быть использован в качестве распределительного устройства аэрируемый канал);

б) устройства для выключения из работы, опорожнения и промывки сооружений и трубопроводов при их ремонте, очистке и т. п.;

в) устройства для аварийного сброса сточных вод до и после сооружений механической очистки. К запорным приспособлениям на аварийных выпусках (обязательно запломбированным в нормальных условиях эксплуатации) должен быть обеспечен свободный проход;

г) устройства для замера количества сточных вод, сырого осадка, возвратного и избыточного активного ила, расхода воздуха, пара и газа;

д) установка автоматических пробоотборников и приборов, регистрирующих качественные показатели сточной воды, ила и осадка.

Кроме основных производственных сооружений на территории станции в зависимости от местных условий располагаются вспомогательные и обслуживающие объекты: котельная, мастер-

ские, воздуходувная, трансформаторные подстанции, склад хлора, проходная, гараж, административный корпус, лаборатория и др.:

Производственно-вспомогательные службы проектируются в двух вариантах.

По первому варианту центральные базы служб эксплуатации не предусматриваются. Для технологического и санитарного контроля работы сооружений проектируются лаборатории с отделениями для физико-химического и бактериологического анализа и вспомогательными помещениями (мойка посуды, весовая, кладовая и др.). Лаборатории располагаются в общем блоке с административно-бытовыми помещениями. Для производства текущего и среднего ремонта оборудования предусматривается мастерская, в состав которой входят ремонтно-механическое, электро-ремонтное отделения и аппаратная КИП. В составе очистной станции предусмотрено помещение для стоянки одной специальной машины, двух тракторов со сменным бульдозерным и экскаваторным оборудованием и двух саморазгружающихся тракторных прицепов для вывозки осадка.

Для хранения нормативных запасов строительных материалов, резервного оборудования и арматуры предусмотрен склад, состоящий из закрытого и открытого (с навесом) отделений. Мастерские, помещение для стоянки машин и склад проектируются в общем здании.

По второму варианту при наличии центральной базы служб эксплуатации для оперативного обслуживания нужд очистной станции предусматриваются: помещения для хранения проб, анализируемых в центральной лаборатории, и лаборатории для производства основных анализов; мастерская, в которой установлены верстаки и настольные металлорежущие станки; помещение для стоянки одной специальной автомашины; промежуточный склад материалов и оборудования.

В производственных зданиях очистной станции предусматриваются санузлы и помещения для дежурного персонала. Гардеробы для уличной и рабочей одежды, душевые, кладовые, помещения для стирки и сушки одежды, буфет, помещения для административно-управленческого персонала размещаются в блоке административно-бытовых помещений и лаборатории. В этом же блоке размещается центральный диспетчерский пункт станции.

Электроснабжение основных токоприемников станции предусмотрено по 2-й категории надежности питания с допустимым перерывом не свыше получаса (электроснабжение от двух независимых источников). На площадке проектируется трансформаторная подстанция на два трансформатора, причем мощность каждого из них обеспечивает потребности всех токоприемников 2-й категории (по аварийному графику) и 50 % потребности токоприемников 3-й категории.

Для обслуживания абонентов очистных сооружений предусматривается система телефонизации.

Для теплоснабжения проектируются котельные с водогрейными котлами. Теплоносителем является вода с температурой $+95 \div 70$ °С. Тепло расходуется на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Вода для горячего водоснабжения поступает из бойлерной. В варианте с метантенками (для подогрева осадка) в котельной устанавливаются паровые котлы. В топочные устройства котлов вносятся изменения, обеспечивающие их работу, как на природном газе, так и на газе метантенков, что исключает необходимость строительства газгольдеров в составе очистной станции.

Теплосеть прокладывается в подземных каналах из сборных железобетонных элементов.

На площадке очистных сооружений предусматривается хозяйственно-противопожарный и технический водопровод. В системе технического водопровода используется вода после вторичных отстойников.

Территория станции должна быть ограждена забором или изгородью на высоту не менее 1,2 м, благоустроена и освещена.

В зависимости от местных условий в проекте могут предусматриваться мероприятия по защите сооружений от снежных заносов и паводковых вод.

Типы очистных сооружений выбираются в зависимости от необходимой степени очистки и расхода сточных вод. Степень очистки устанавливается органами Государственного санитарного надзора.

В зависимости от количества сточных вод, подлежащих очистке, рекомендуются следующие типы очистных сооружений:

1. Для механической очистки сточных вод:

а) до 25 м³/сутки – септики и установка для дезинфекции хлорной известью;

б) до 4200 м³/сутки – решетки-дробилки, песколовки, двухъярусные отстойники, установка для дезинфекции и сооружения для обработки осадка (иловые площадки);

в) до 10000 м³/сутки – решетки-дробилки и резервная решетка с механическими граблями, песколовки с круговым движением воды, вертикальные отстойники или осветлители с естественной аэрацией, хлораторные установки, контактные резервуары и сооружения для обработки осадка (механическое обезвоживание или иловые площадки);

г) более 10000 м³/сутки – решетки с механической очисткой и удалением отбросов ленточным транспортером в контейнеры, песколовки с гидrocиклонами для отмывки песка, горизонтальные или радиальные отстойники, заблокированные с преаэраторами, хлораторные установки, контактные резервуары, сооружения для обработки осадка (метантенки и иловые площадки; механическое обезвоживание сырого осадка на центрифугах или вакуум-фильтрах; обеззараживание осадка путем нагрева инфракрасными горелками или компостированием осадка; термическая сушка осадка методом встречных газовых струй).

2. Для биологической очистки сточных вод в составе сооружений очистной станции дополнительно к сооружениям механической очистки и обработки осадка рекомендуется применять:

а) при количестве сточных вод до 25 м³/сутки – поля подземной фильтрации, биологические пруды, циркуляционно-окислительные каналы, компактные аэрационные установки со стабилизацией активного ила;

б) до 4200 м³/сутки – поля орошения, поля фильтрации и высоконагружаемые биофильтры или аэротенки со стабилизацией активного ила;

в) до 10000 м³/сутки – поля орошения; при отсутствии земельных участков – высокопроизводительные аэротенки с механической аэрацией, заблокированные со вторичными отстойниками, и с аэробной минерализацией избыточного активного ила;

г) более 10000 м³/сутки – аэротенки с неравномерно распределенным впуском сточной воды, аэротенки-смесители, аэро-

тенки-вытеснители с механической или пневматической аэрацией и для станций до 50000 м³/сутки с аэробной стабилизацией избыточного активного ила в минерализаторах.

Доочистка сточных вод производится в биологических прудах, при отсутствии достаточных площадей – на песчаных и двухслойных фильтрах или микрофильтрах.

Обеззараживание очищенной сточной воды при применении вместо жидкого хлора электролитического гипохлорита натрия осуществляется в электролизерах ЭН-100 на очистных станциях с пропускной способностью до 50000 м³/сутки. Обеззараживание с применением жидкого хлора осуществляется на очистных станциях независимо от их пропускной способности.

На станциях очистки пропускной способностью до 50000 м³/сутки при соответствующем обосновании допускается применять аэробную стабилизацию как избыточного активного ила, так и смеси его с осадком из первичных отстойников. Аэробная стабилизация должна осуществляться в сооружениях типа аэротенков, называемых стабилизаторами. При продолжительности аэрации неуплотненного избыточного активного ила 7÷10 суток распад беззольного вещества следует принимать соответственно 20÷30 %, удельный расход воздуха – 1 м³/м³ рабочей емкости сооружений в 1 ч; при продолжительности аэрации смеси ила с осадком первичных отстойников 10÷12 суток распад беззольного вещества соответственно 30÷40 %, удельный расход воздуха – 1,2÷1,5 м³/м³ рабочей емкости сооружения в 1 ч.

Отстаивание стабилизированных осадков следует производить в течение 1,5÷2 ч в специально выделенной зоне, устраиваемой внутри аэрационного сооружения, или в отдельных отстойниках. Иловая вода должна направляться в аэротенки.

В отдельных случаях допускается аэробная стабилизация избыточного активного ила производственных сточных вод. Расчетные данные при этом надлежит определять экспериментально.

Стабилизированные осадки следует подвергать дальнейшей обработке так же, как осадки, сброженные в мезофильных условиях.

Вопросы утилизации осадка имеют немаловажное значение и решаются при разработке общей схемы обработки осадка.

На практике широко используется метод обезвоживания осадка путем его сушки в естественных условиях на иловых площадках.

Наиболее правильным решением проблемы обработки осадка является переход на искусственные методы механического обезвоживания и термической сушки. Наличие в осадке городских сточных вод соединений азота, фосфора, калия и микроорганизмов определяет целесообразность их использования в качестве органического удобрения (с предварительным сбраживанием и дегельминтизацией осадка).

Осадки городских сточных вод при норме внесения их около 7 т сухого вещества на 1 га сельскохозяйственных земель полностью удовлетворяют потребность сельскохозяйственных культур в азоте и фосфоре. Прирост урожая на почвах, удобренных обработанными осадками сточных вод, составляют: для зерновых и бобовых культур – около 30 %, для кормовых и садовых – до 50%. Ориентировочно можно считать, что применение осадков в качестве удобрений даст увеличение чистого дохода в сельском хозяйстве на 150÷200 руб. с 1 га. Для условий Чуйской области, где количество образующихся осадков на станциях аэрации составляет 0,5÷1 % объема поступающей на очистные сооружения сточной воды, доход от использования осадков в сельском хозяйстве может составить около 9,2 млн сом. в год, т. е. превысит ежегодные капиталовложения на строительство сооружений по обработке осадка.

Для обработки осадка перспективными являются следующие схемы:

а) механическое обезвоживание сырого осадка и дегельминтизация;

б) тепловая безреагентная обработка осадков с последующим уплотнением и обезвоживанием на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центрифугах;

в) термообработка сырых и обезвоженных осадков и избыточного ила в распылительно-кипящих сушилках.

В каждом отдельном случае выбор оптимальных решений и схем должен быть сделан только на основе всестороннего технико-экономического обоснования.

Для глубокой очистки воды приняты микрофильтры.

Основные технологические параметры обработки воды:

- продолжительность пребывания в первичных отстойниках – 1,8 ч;
- доза ила в аэротенках – 4 кг/м^3 ;
- продолжительность пребывания в аэротенках – 3 ч;
- расход кислорода на 1 кг снятой БПК₅ – 1,1 кг;
- продолжительность пребывания во вторичных отстойниках – 2,3 ч.

Основные технологические параметры обработки осадка:

- период аэробной стабилизации смеси ила с фугатом сырого осадка – 12 суток;
- нагрузка центрифуги, обрабатывающей сырой осадок – $4 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- нагрузка центрифуг, обрабатывающих минерализованную смесь ила с фугатом сырого осадка – $11 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- доза аммиака 3,6 %, считая по сухому веществу осадка;
- продолжительность обеззараживания осадка – 10 суток.

В связи с повышением требований к качеству очистки сточных вод в последние годы все более широкое распространение получают методы доочистки сточных вод после биологической очистки.

Дальнейшее изъятие из них твердых веществ производят механическими методами (в микроситах или в песчаных фильтрах).

Если очищенные сточные воды сильно замутнены или требуется дальнейшее снижение содержания в них органических веществ, применяют доочистку в окислительных прудах.

Полная биологическая очистка сточных вод в аэротенках позволяет довести БПК_{полн} сточных вод и содержание взвешенных веществ до 15 мг/л .

Большее снижение содержания загрязнений требуется в случае сброса сточных вод в маломощные водоемы, особенно имеющие значение для рыбного хозяйства, а также для возможности последующего использования доочищенных сточных вод в промышленном водоснабжении.

Практика проектирования показывает, что в последнее время количество станций, для которых устанавливаются повышенные требования к качеству очистки сточных вод, возрастает. В отдельных случаях такие требования водохозяйственных и рыбохозяйственных органов не имеют достаточного технико-экономического обоснования, в целом же тенденцию постепенного роста степени очистки следует признать закономерной.

Наиболее простым и экономичным способом доочистки является биологическая очистка в прудах, которая находит повсеместное применение. Однако для средних и крупных станций пропускной способностью свыше $17 \div 25$ тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$ применение биопрудов зачастую невозможно из-за отсутствия достаточных площадей (необходимая площадь для доочистки 1000 м^3 сточной воды с учетом работы в зимнее время доходит до 1 га). Кроме того, биопруды подвержены зарастанию водорослями, требуют трудоемкой очистки от осадка и т. д.

Поэтому для станции пропускной способностью свыше 25 тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$ целесообразно производить доочистку в искусственных условиях. Опыт показывает, что наиболее рациональным методом обработки сточных вод, прошедших полную биологическую очистку, является фильтрация на песчаных фильтрах, защищенных от попадания плавающих веществ. Для защиты фильтров целесообразно применять барабанные сетки, обеспечивающие задержание взвешенных частиц размером 0,5 мм и более.

Для фильтрации сточной воды могут быть использованы фильтры с двухслойной загрузкой (песок и дробленый антрацит) и контактные осветлители. В случае применения двухслойных фильтров для отмывки верхних слоев загрузки используется система поверхностной промывки.

В случае применения осветлителей следует использовать контактные осветлители типа КО-3, имеющие водовоздушную промывку. Эти осветлители дают возможность более полно отмывать загрузку и повысить скорость фильтрования.

Для борьбы с биообрастанием загрузки предусматривается возможность хлорирования воды перед фильтрами повышенными дозами хлора.

Достигается особенно эффективная доочистка, если помимо БПК и взвешенных веществ из сточных вод удаляется фосфор,

который создает благоприятные условия для развития водорослей в водоемах и биообрастаний в трубопроводах. Для удаления фосфора необходимо введение коагулянтов (солей железа или алюминия), однако это значительно усложняет и удорожает процесс доочистки.

Оценка эффективности биологической очистки сточных вод и определение необходимой степени разбавления остаточных загрязнений производятся по следующим показателям: БПК_{полн}, концентрации взвешенных веществ, общей минерализации, содержанию хлоридов, тяжелых металлов, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ, фенолов.

БПК_{полн} сточных вод после полной биологической очистки не должно превышать 15 г/м^3 . Однако данные о работе очистных станций ряда городов и промышленных предприятий показывают, что после очистки БПК₅ = $12 \div 30 \text{ г/м}^3$, т. е. БПК_{полн} = $18 \div 45 \text{ г/м}^3$.

На московских станциях полной биологической очистки сточных вод БПК₅ = $9 \div 15 \text{ г/м}^3$ (БПК_{полн} = $13,5 \div 23 \text{ г/м}^3$). Концентрация взвешенных веществ составляла $9,8 \div 20,5 \text{ г/м}^3$, растворенного кислорода $4,9 \div 8,7 \text{ г/м}^3$.

На примере опыта эксплуатации Курьяновской станции аэрации (КСА) в г. Москва показывает, что за весь период эксплуатации БПК₅ составляло $8 \div 16 \text{ г/м}^3$, концентрация взвешенных веществ – $12 \div 20 \text{ г/м}^3$ и растворенного кислорода – $4,3 \div 5,2 \text{ г/м}^3$.

Следует указать, что использование городских очищенных сточных вод в системах производственного водоснабжения возможно только в случае их полной санитарно-гигиенической безопасности и практически осуществляется в районах с высокоразвитой промышленностью и ограниченными водными ресурсами. Очищенные воды используются для охлаждения в закрытых теплообменных аппаратах, для питания котлов, для тушения кокса, смывания и гидротранспортирования окалины, в машиностроительной и металлургической промышленности и для некоторых других целей, за исключением предприятий пищевой промышленности.

18.2. Генеральные планы и схемы высотного расположения очистных сооружений

При составлении генерального плана очистной станции должна быть предусмотрена возможность ее расширения (в плане, а также по высотным отметкам и сечениям каналов). Генеральный план очистной станции в зависимости от ее размеров составляется в масштабе 1:500 или 1: 1000. На него наносят основные и вспомогательные сооружения и трубопроводы, а также дороги, схемы хозяйственно-питьевого водопровода, электро-распределительных устройств (трансформаторные подстанции, кабельную сеть низкого и высокого напряжения и пр.).

Разработка генерального плана производится с учетом санитарных требований, пожарной профилактики и техники безопасности.

Разрывы между отдельными сооружениями при расположении их на местности с относительно спокойным уклоном могут быть приняты следующими:

- между группами одноименных сооружений – $2\div 3$ м;
- между разноименных сооружений – $5\div 10$ м;
- между предварительной механической очистки и биофильтрами (учитывая насыпь 1:1) – $15\div 20$ м;
- между сооружениями и иловыми площадками с учетом обсадки их деревьями, устройствами для отвода поверхностных вод, подъездными путями, подводщими ил коммуникациями и т. п. – $25\div 30$ м;
- между сооружениями (в зависимости от их объема) – $20\div 50$ м.

Высотное расположение отдельных сооружений определяет объем земляных работ. Сооружения, имеющие большую высоту (вертикальные отстойники, двухъярусные отстойники и метантенки), целесообразно располагать наполовину выше уровня земли, чтобы уменьшить объем земляных работ; земля, извлеченная из котлована, используется на обсыпку сооружений с целью их утепления.

Иловые площадки больших размеров следует располагать по возможности на уровне поверхности земли в целях уменьшения

объема земляных работ, стоимость которых составляет значительную часть общей стоимости площадок. Если этого требует рельеф местности, иловые площадки иногда располагают террасами. Во многих случаях отметки карт иловых площадок определяют высотное расположение очистных сооружений.

Сточные воды должны проходить по очистным сооружениям самотеком, осадок же чаще всего приходится перекачивать из первичных отстойников, активный ил – из вторичных отстойников в аэротенки, а избыточный ил – на последующую обработку.

Для самотечного движения сточной воды по всем сооружениям очистной станции необходимо, чтобы отметка поверхности воды в подводящем канале превышала отметку воды в водоеме при высоком горизонте на величину, достаточную для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям, с учетом запаса $1 \div 1,5$ 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. Все виды этих потерь можно классифицировать следующим образом:

1) потери на трение при движении сточной воды по трубам и лоткам, соединяющим отдельные сооружения;

2) потери при изливе воды через водосливы, отверстия на входах и выходах в каналы, в конструктивных и контрольно-измерительных приспособлениях и приборах и др.;

3) потери в сооружениях очистной станции, в местах перепадов уровней воды.

Кроме того, нужно предусмотреть некоторый запас напора с расчетом на будущее расширение очистной станции.

Для предварительных расчетов разница отметок уровня воды перед и за сооружением (включая гидравлические потери, но без учета местных сопротивлений в подводящих и отводящих лотках), потеря напора в сооружениях (в см) принимается по таблице 18.2.

Общая величина потерь напора на очистной станции зависит также от компактности расположения сооружений, т. е. от величины разрывов между ними и, следовательно, длины подводящих лотков.

Таблица 18.2

Сооружения	Потери напора, см
В решетках	5÷20
В песколовках	10÷20
В преаэраторах	15÷25
В горизонтальных отстойниках	20÷40
В вертикальных отстойниках	40÷50
В радиальных отстойниках	50÷60
В осветлителях	60÷70
В биофильтрах с реактивными оросителями	$h+150$ (h – высота загрузки биофильтров, см)
В биофильтрах с неподвижными спринклерами	$h+250$
В аэротенках	25÷50
В контактных резервуарах	40÷60
В смесителях	10÷50
В песчаных фильтрах	250÷300

Ориентировочно можно принимать ее при механических способах очистки 6 м, при биохимических способах – 8 (при аэротенках) и 12 м (при биофильтрах). При более точном определении отметок уровня воды в различных точках очистной станции необходимо учитывать потери на местные сопротивления: при входе и выходе воды из сооружений, в измерительных устройствах и смесителях, в местах поворотов, сужений или расширений каналов и т. п.

Для определения взаимного высотного расположения отдельных сооружений очистной станции одновременно с составлением генерального плана составляются профили движения воды и ила, так называемые профили «по воде» и «по движению осадка и ила».

Горизонтальный масштаб для этих профилей принимают такой же, как и для плана расположения сооружений очистной станции, т. е. 1:500 или 1:1000, а вертикальный – 1:50 или 1:100.

Профиль «по воде» представляет собой развернутый разрез по сооружениям, сделанный по самому длинному пути движения воды от подводящего канала до выпуска в водоем.

Профиль «по движению осадка» начинается от выпуска осадка из первичных отстойников и доводится до сооружений по обработке осадка (в случае устройства иловых площадок до присоединения дренажной линии иловых площадок к главному каналу).

На профилях должны быть показаны отметки уровня воды, отметки лотков, каналов, труб и других важных точек сооружений, а также отметки как естественной, так и спланированной поверхности земли.

В 1995–2010 гг. институтом «ЦНИИЭП инженерного оборудования» (Россия) были разработаны типовые проекты по станциям для биологической очистки сточных вод пропускной способностью 25÷280 тыс. м³/сутки. Сооружения проектируются в сблокированном варианте (блоки первичных отстойников, блоки аэротенков и вторичных отстойников – при горизонтальных и радиальных отстойниках) и в виде отдельно расположенных емкостей (радиальные круглые отстойники). Все сооружения выполняются из сборных железобетонных элементов.

Станции пропускной способностью 25÷50 тыс. м³/сутки 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.

Вариант с радиальными отстойниками с периферийным впуском позволяет по сравнению с первым снизить расход бетона и металла на 10–12 %, обеспечивает большую гибкость при привязке проекта, упрощает эксплуатацию сооружений.

По стоимости оба варианта примерно равноценны.

Аэротенки приняты с нелинейно-рассредоточенным впуском сточной воды с механической аэрацией. Дезинфекция очищенных стоков предусмотрена жидким хлором.

Обработка осадка проектируется с применением аэробной минерализации с механическим обезвоживанием осадка на центрифугах и последующим компостированием.

В составе комплекса очистных сооружений проектируются здания насосной станции активного ила и хлораторной.

Станции пропускной способностью $70\div 280$ тыс. $\text{м}^3/\text{сутки}$ запроектированы с применением радиальных и горизонтальных отстойников.

Перед первичными отстойниками устанавливаются механизированные решетки типа МГ и аэрируемые песколовки.

Аэротенки приняты с нелинейно-рассредоточенным впуском сточной воды и пневматической аэрацией.

Дезинфекция сточной жидкости предусматривается жидким хлором.

Обработка осадка принята с аэробной минерализацией, центрифугированием и компостированием. Возможны и другие варианты: механическое обезвоживание на вакуум-фильтрах со сходящим полотном с последующей термической сушкой по методу встречных газовых струй; сбраживание в метантенках с последующей сушкой на иловых площадках.

Указанные типовые станции можно применять для полной биологической очистки сточных вод, имеющих первоначальную концентрацию загрязнений от 140 до 280 мг/л по БПК₂₀ и от 220 до 275 мг/л по взвешенным веществам, без изменений объема сооружений.

При других концентрациях загрязнений сточных вод мощности и марки воздуходувок, нагрузка и количество метантенков, количество паровых котлов, а также длина аэротенков устанавливаются дополнительным расчетом, что вызывает незначительный объем проектных работ.

Удельный вес сооружений для очистки сточных вод в общей стоимости основных фондов промышленного производства достигает $10\div 20$ %.

Показателем экономичности проектных решений при технико-экономической оценке очистных станций является удельный расход сточной воды, приходящийся на единицу площади застройки станции. На станциях очистки сточных вод Кыргызстана удельный расход составляет примерно $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})$ площади застройки.

18.3. Водомерные устройства на очистных сооружениях

Расходы сточных вод, поступающих на очистные сооружения или отдельные группы сооружений, а также расходы стоков, отводимых от этих сооружений, измеряют в напорных трубопроводах (в насосных станциях, дюкерах, подводящих или отводящих напорных участках коллекторов и т. п.). Измерение в напорных трубопроводах более точно и надежно, чем в безнапорных (открытых) каналах, и связано с меньшими потерями напора.

Измерение в напорных трубопроводах расхода сточных вод при содержании механических примесей более 1000 мг/л следует производить при помощи труб Вентури с конической входной частью.

Измерение расхода сточных вод с меньшим количеством механических загрязнений можно производить при помощи труб Вентури, снабженных соплом Вентури.

При невозможности измерить расход сточных вод в напорных трубопроводах должно быть предусмотрено измерение в открытых прямоугольных лотках и каналах с использованием для этой цели лотков Вентури, водосливов с порогом треугольного профиля или лотков Паршалля.

Наиболее точным и надежным измерительным устройством для контроля расхода сточной воды в прямоугольных каналах шириной 450÷2400 мм являются лотки Вентури (см. таблицу 18.3).

Лоток Вентури представляет собой устройство, вызывающее сжатие потока и перепад уровней воды, при котором расход жидкости зависит только от уровня в контрольном сечении.

В зависимости от способа отбора импульса и установки дифманометра запроектированы два варианта водоизмерительных лотков: I вариант – со шкафом и II вариант – с колодцем.

Для определения расхода замеряется высота слоя воды в контрольном сечении.

Лотки Вентури можно выполнять из железобетона или металла.

Для измерения расхода агрессивных по отношению к металлу или железобетону сточных вод поверхности лотков, соприка-

сающиеся со сточными водами, должны быть футерованы коррозионностойким материалом (листовым винипластом, стеклопластиком и т. п.) или покрыты антикоррозионными материалами, например путем напыления.

Таблица 18.3 – Размеры лотков Вентури для измерения расхода сточных вод в открытых прямоугольных каналах

Пределы измерений расхода с точных вод, м ³ /ч	Ширина лотка, В	Ширина суженной части лотка, b	Высота лотка, Н	Длина участка перед сужением, Е	Длина участка после сужения, F	Длина участка до сужения, К	L = К+Е+F	Уклон дна до сужения, i ₁	Уклон дна после сужения, i ₂
25÷500	450	296	600	1200	1260	2040	4500	0,002	0,003
60÷1250	600	377	900	2000	1960	2040	6000	0,003	0,0015
200÷4000	900	596	1200	3000	2800	2000	7800	0,0015	0,003
250÷5000	1200	752	1200	3000	3420	1980	8400	0,001	0,002
400÷8000	1800	1180	1200	3000	4180	2000	9200	0,001	0,002
500÷10000	2400	1500	1200	3000	5390	2010	10400	0,001	0,002

Для измерения расхода воды в открытых каналах на очистных станциях применяют также лотки Паршала, работающие по принципу сжатия потока. В таких лотках потери напора меньше, чем, например, в измерительных водосливах. Кроме того, они не создают препятствий для прохождения твердых частиц, которые могут быть в сточной воде.

Конструкция лотка стандартная. Водомерный лоток этого типа состоит из следующих основных частей: подводящего раструба, горловины и отводящего раструба. Лоток устанавливают на канале прямоугольного сечения шириной не менее 40 см.

Расход воды, проходящей через лоток, определяют из гидравлических зависимостей между расходом Q и изменением уровня, вызываемым сужением потока, а также изменением скорости в лотке.

В средней части (горловине) боковые стенки лотка строго вертикальны и параллельны, а дну придан уклон $i = 0,375$ в сторону движения воды.

К горловине с обеих сторон примыкают подводящий и отводящий раструбы с расходящимися к концам лотка стенками. От ширины горловины лотка b зависят длина подводящего раструба и ширина входа и выхода лотка.

Для водомерных лотков при $b > 30$ см длину подводящего раструба по оси лотка (см), принимают равной: $\ell_1 = 0,5b + 120$; ширину входа (см), $A = 1,2b + 48$; ширину выхода (см), $B = b + 30$; длину горловины $\ell_2 = 60$ см, а длину отводящего раструба по оси лотка $\ell_3 = 90$ см. Дно подводящего раструба выполняют горизонтальным, а дно отводящего раструба – с обратным уклоном (к горловине), равным $0,166$.

Для определения расхода воды в таких незатопленных лотках необходимо измерить только глубину воды H перед лотком, до начала кривой спада. Эта глубина может быть измерена при помощи дифманометра с самопишущими приборами, имеющими привод от часового механизма или электродвигателя с дистанционной передачей измерений, что позволяет определить расход воды в любой момент времени, а также суммарный суточный расход.

Водомерные лотки переменного сечения изготавливаются из монолитного железобетона.

К водомерным устройствам для сточных вод предъявляются специальные требования. Водомерное устройство не должно задерживать наносов, быть надежным при малом перепаде, т. е. при небольшой потере напора в водомере.

18.4. Характерные нарушения нормальной работы очистных сооружений и меры по их устранению

При четком взаимодействии работы отдельных сооружений, равномерном распределении нагрузки между одинаковыми, параллельно действующими сооружениями, устранении диспропорции в мощности отдельных видов сооружений, отсутствии значительных отклонений в количестве и составе сточных вод от

проектных данных, достигается получение воды, отвечающей по своим качественным показателям санитарным правилам спуска ее в водоем.

Для нормальной эксплуатации очистных сооружений необходима, кроме того, организация надлежащего ухода за ними и постоянного контроля со стороны эксплуатационного персонала за ходом технологического процесса.

Отсутствие контроля может привести к тому, что перегруженные сооружения будут работать с повышенным выносом взвешенных веществ или с нарушением биологического процесса.

Нормальную работу очистной станции нарушают перегрузка сооружений; залповое поступление сточной воды; приток производственных сточных вод, которые не отвечают требованиям приема их в бытовую систему водоотведения, весенний и осенний паводки, если сооружения в целом или отдельные элементы их находятся в заливаемой весенними водами зоне.

Перегрузка сооружений может произойти в результате поступления на очистную станцию количества сточных вод, превышающее расчетное, неправильного и неравномерного распределения воды и осадка по отдельным сооружениям и выключения части сооружений на капитальный или внеплановый ремонт.

На весь комплекс и на каждое сооружение в отдельности составляется технологический паспорт, в котором, кроме ряда технических данных, должна быть указана проектная и фактическая производительность сооружений.

При определении производительности комплекса очистных сооружений необходимо учитывать неизбежность периодического выключения части их на профилактический осмотр, текущий и капитальный ремонты.

При выключении отдельных сооружений на ремонт число их должно быть увязано с допустимой перегрузкой остающихся в эксплуатации сооружений, которая должна быть распределена между ними равномерно.

На основе этих данных устанавливают предельные нагрузки и режим эксплуатации сооружений.

Для предотвращения перегрузок, нарушающих режим работы отдельных сооружений, необходимо установить систематический

контроль за количественными и качественными показателями состава сточных вод и немедленно принимать специальные меры.

Случаи нарушения правил технической эксплуатации сооружений и регистрация установленного факта должны фиксироваться в рабочем журнале.

Залповое поступление сточной воды на очистные сооружения может быть вызвано следующими причинами: неравномерным режимом поступления в сеть производственных и бытовых сточных вод, а в случаях подачи воды через насосную станцию – частыми перерывами в работе насосов или неудачным подбором мощности действующих насосов; нерегулярной чисткой подводящих каналов, вследствие чего донные отложения в них могут вызвать временные подпоры, а также кратковременными массовыми сбросами промышленностью вод со значительным содержанием взвешенных веществ, нарушающих работу очистных сооружений.

В связи с большими нарушениями, вызываемыми залповым поступлением сточных вод, следует допускать присоединение к городской водоотводящей сети промышленных предприятий, от которых неравномерно поступают большие количества сточных вод, только при условии сооружения этими предприятиями усреднительных резервуаров; при подаче сточных вод на очистные сооружения насосной станцией должны устанавливаться насосы различной производительности; это улучшает гидравлические условия работы сети, предотвращает использование насосной станции как резервуара, смягчает пики поступления сточных вод на очистные сооружения, а также позволяет лучше использовать мощность электродвигателей.

Для того чтобы обеспечить поступление загрязнений на очистные сооружения не залпами, а по возможности равными частями, прочистка сети каналов и коллекторов должна производиться по графику равномерно в течение года. Перерывы в электроснабжении очистных сооружений предотвращаются путем использования надежных источников энергии или устройства в отдельных случаях питания от двух независимых источников. Для обеспечения бесперебойной очистки сточных вод должны строго соблюдаться межремонтные сроки работы и эксплуатации водоот-

водящих сетей и сооружений, предусмотренные специальной инструкцией, и выполняться работы по текущему ремонту.

18.5. Организация обслуживания очистных сооружений

Эксплуатация очистных сооружений должна производиться квалифицированным инженерно-техническим персоналом.

На больших и средних станциях в составе эксплуатационного персонала должны быть специалисты – химики и биохимики, а при наличии полей орошения – и агроном.

Контроль за качеством поступающей и выходящей сточной воды, за правильным ведением технологического процесса и разработка мероприятий по улучшению технологических процессов производятся лабораториями.

18.6. Контроль за работой сооружений

Для технико-экономической характеристики работы очистных сооружений необходим технологический учет результатов работы отдельных сооружений и всей очистной станции в целом.

К числу основных показателей, характеризующих работу очистных сооружений, относятся:

- 1) расход сточных вод в целом и по отдельным сооружениям;
- 2) количество отбросов, задержанных решетками, их влажность, состав, плотность, зольность;
- 3) количество осадка из песколовков, его плотность, зольность, содержание песка, фракционный состав;
- 4) количество сырого осадка из первичных отстойников, его влажность и зольность, вынос оседающих веществ по объему и массе;
- 5) количество и температура загружаемого в метантенки осадка и уплотненного активного ила, а также осадка, выгружаемого из метантенков, его влажность, зольность, количество получаемого газа, потребление пара;
- 6) количество воздуха и активного ила (доза) в аэротенках;

- 7) количество активного ила, поданного в аэротенки, и избыточного, поданного в преаэраторы или в илоуплотнители;
- 8) величина выноса активного ила из вторичных отстойников;
- 9) расход хлора;
- 10) количество пара;
- 11) расход электроэнергии и воды по всем сооружениям.

Первичный учет работы очистных сооружений ведется дежурным персоналом, который все данные по работе сооружений заносит в рабочие журналы. Такие журналы заполняются каждой сменой. В дневную смену подводятся итоги результатов суточной работы. В рабочий журнал, кроме основных эксплуатационных показателей, вносятся сведения обо всех неисправностях и отклонениях в работе механизмов и сооружений.

На основании данных учета составляется сводная ведомость.

Ежемесячно по установленной форме составляется технический отчет о работе очистных сооружений на основании сводных ведомостей. Технический отчет сопровождается краткой пояснительной запиской, анализирующей работу очистных сооружений на основании имеющихся данных. В техническом отчете записываются все имевшиеся при эксплуатации недостатки, приводятся результаты внедрения новой технологии, применения передовых методов работы.

На основании месячных отчетов составляется годовой отчет, который охватывает основные этапы работы.

Эффект работы очистных сооружений определяется достигнутыми экономическими показателями. На основании ежеквартальных и годового отчетов предприятие или цех должны получать контрольные цифры по производственным показателям – приему сточной воды, рабочей силе, прямым затратам, цеховым расходам, капитальному ремонту, себестоимости и удельным нормам расхода электроэнергии, пара, воды, газа и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев С.И., Карелин Я.А., Жуков А.Т., Колобанов С.К. Канализация: учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1975. 632 с.

2. Яковлев С.И., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Калищун В.И. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1996. 591 с.

3. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод. М.: Мир, 2009. 480 с.

4. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации / Я.А. Карелин, А.В. Минаев. В кн. Насосы и насосные станции. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.

5. Карелин Я.А., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.

6. Карелин Я.А., Новодережкин Р.А. Насосные станции с центробежными насосами. М.: Стройиздат, 1983. 224 с.

7. Канализационные сети. Примеры расчета: учебное пособие для вузов / Н.Ф. Федоров, А.М. Курганов, М.И. Алексеев. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1985. 223 с.

8. Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации: справочник строителя / А.К. Перешивкин, А.А. Александров, Е.Д. Булынин и др.; под ред. А.К. Перешивкина. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1988. 653 с.

9. Калищун В.И. Водоотводящие системы и сооружения: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1987. 336 с.

10. Яковлев С.И., Ласков Ю.М. Канализация (водоотведение и очистка сточных вод): учебник для техникумов. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1987. 319 с.

11. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / под общ. ред. А.М. Курганова. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 440 с.

12. СНиП 2.04.01–85*. Внутренний водопровод и канализация зданий. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2001. 60 с.

13. СНиП 2.04.02–84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2002. 128 с.

14. СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Госстрой СССР, ЦИТП, 1986. 72 с.

15. *Иманбеков С.Т., Абдыкалыков А.А., Абдылдабеков К.Т., Султакеева А.Т.* Возведение и строительство водопроводных и водоотводящих сетей и сооружений: учебник для вузов. Бишкек: КГУСТА, Айат, 2014. 132 с.

16. *Иманбеков С.Т., Ибраимова Э.Б., Косивцов Г.В., Ордобаев Б.С.* Диагностика, инженерное обследование и определение износа наружных инженерных сетей и сооружений: учебник для вузов. Бишкек: Айат, 2014. 96 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ.....	9
1.1. Классификация сточных вод и систем водоотведения.....	9
1.1.1. Назначение водоотведения и классификация сточных вод.....	9
1.1.2. Системы водоотведения.....	12
2. СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ.....	15
2.1. Водоотведение и его основные сооружения.....	15
2.2. Схемы водоотведения населенных пунктов и промышленных предприятий.....	19
2.3. Районные (региональные) схемы водоотведения.....	21
3. ВЫБОР СИСТЕМЫ И РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ.....	23
3.1. Сравнительная оценка систем водоотведения.....	23
3.2. Выбор системы водоотведения.....	26
3.3. Условия приема сточных вод в водоотводящие сети.....	29
3.4. Использование водоотводящей сети для сплава снега, жидких и измельченных отбросов.....	33
4. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ.....	35
4.1. Расчетные данные для определения количества сточных вод.....	35
4.1.1. Расчетное население.....	35
4.1.2. Норма водоотведения.....	36
4.1.3. Коэффициенты неравномерности водоотведения.....	38
5. РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ СТОЧНЫХ ВОД.....	41
5.1. Определение расчетных расходов сточных вод.....	41
5.2. Графики колебаний расходов (притока) сточных вод.....	42
5.3. Суммарные расходы сточных вод.....	45
6. ВОДООТВОДЯЩИЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ.....	47
6.1. Гидравлический расчет водоотводящей сети.....	47

6.1.1. Формы поперечных сечений труб и коллекторов и их гидравлическая характеристика.....	47
6.1.2. Минимальные диаметры и степень наполнения труб	49
6.1.3. Режим течения сточных вод в наружной водоотводящей сети	50
6.1.4. Формулы для гидравлического расчета водоотводящей сети	54
6.1.5. Расчетные скорости движения сточных вод и минимальные уклоны.....	57
6.1.6. Приемы расчета безнапорных водоотводящих сетей.....	59
6.1.7. Расчет местных сопротивлений в водоотводящей сети	61
6.1.8. Гидравлический расчет напорных трубопроводов.....	62
7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОЙ ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ.....	64
7.1. Принципы проектирования, трассировки и реконструкции водоотводящей сети.....	64
7.2. Расположение водоотводящих трубопроводов в поперечном профиле проездов.....	70
7.3. Глубина заложения водоотводящих сетей	73
7.4. Определение расходов для расчетных участков водоотводящей сети	74
7.5. Проектирование высотной схемы водоотводящих сетей	76
7.6. Конструирование водоотводящей сети.....	78
8. ТРУБЫ И КОЛЛЕКТОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДООТВОДЯЩИХ СЕТЕЙ.....	81
8.1. Требования, предъявляемые к материалу труб и каналов	81
8.2. Водоотводящие трубы.....	82
8.3. Коллекторы и каналы	87
8.4. Соединения труб.....	89
8.5. Основания под трубы и коллекторы, укладываемые открытым способом.....	93

8.6. Устройство приточно-вытяжной вентиляции водоотводящей сети	96
8.7. Защита трубопроводов от агрессивного действия газов, сточных и грунтовых вод.....	98
8.8. Устройство водоотводящей сети в особых условиях....	100
8.9. Ремонт водоотводящей сети	107
9. СООРУЖЕНИЯ НА ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ	108
9.1. Смотровые колодцы и соединительные камеры.....	108
9.2. Перепадные колодцы.....	112
9.3. Дюкеры, переходы и пересечения с трубопроводами...	115
10. ПЕРЕКАЧКА СТОЧНЫХ ВОД	121
10.1. Главные и районные насосные станции	121
10.2. Определение притока и откачки сточных вод	128
10.3. Приемные резервуары	130
10.4. Напорные трубопроводы (водоводы)	133
10.5. Типы насосных станций	136
11. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД	139
11.1. Состав и свойства сточных вод	139
11.2. Нитрификация и денитрификация	146
11.3. Биохимическая и химическая потребность в кислороде	147
11.4. Определение концентрации загрязнений сточных вод	149
11.5. Активная реакция сточных вод	151
11.6. Бактериальные и биологические загрязнения сточных вод.....	152
11.7. Относительная стабильность (стойкость) сточных вод	153
11.8. Использование сточных вод и образующегося при их очистке осадка для удобрений.....	153
11.9. Условия спуска сточных вод в водоемы.....	155
11.10. Определение необходимой степени очистки сточных вод	161
12. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И СХЕМЫ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ.....	167

12.1. Методы очистки сточных вод и обработки осадка.....	167
12.2. Схемы очистных станций.....	173
13. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ.....	182
13.1. Решетки.....	182
13.2. Песколовки	187
13.3. Отстойники. классификация отстойников	198
13.4. Сооружения для предварительной аэрации и биокоагуляции.....	213
14. ОБРАБОТКА, ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ.....	215
14.1. Характеристика осадков, методы обработки, применяемые сооружения	215
14.2. Септики.....	222
14.3. Двухъярусные отстойники	223
14.4. Метантенки. Принцип работы метантенков.....	224
14.5. Аэробная стабилизация осадков.....	227
14.6. Иловые площадки	228
14.7. Механическое обезвоживание осадков.....	230
14.8. Термическая обработка осадков.....	236
15. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	240
15.1. Методы почвенной очистки сточных вод.....	240
15.2. Биологические пруды.....	246
16. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ИСКУССТВЕННО СОЗДАНЫХ УСЛОВИЯХ.....	250
16.1. Биофильтры	257
16.2. Аэротенки	266
16.3. Циркуляционные окислительные каналы.....	278
16.4. Окситенки	279
16.5. Вторичные отстойники и илоуплотнители.....	281
17. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ НАСЫЩЕНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КИСЛОРОДОМ. ВЫПУСК ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОЕМ.....	290

17.1. Обеззараживание сточных вод	290
17.2. Контактные резервуары	298
17.3. Выпуски очищенных сточных вод в водоемы	299
18. ОБЩИЕ СХЕМЫ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	301
18.1. Выбор площадки для очистных сооружений и способов очистки сточных вод	301
18.2. Генеральные планы и схемы высотного расположения очистных сооружений	312
18.3. Водомерные устройства на очистных сооружениях ...	317
18.4. Характерные нарушения нормальной работы очистных сооружений и меры по их устранению.....	319
18.5. Организация обслуживания очистных сооружений.....	322
18.6. Контроль за работой сооружений	322
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	324

**И.А. Абдурасулов,
К.Т. Баканов, С.Т. Иманбеков**

ВОДООТВЕДЕНИЕ

**Учебник для студентов
высших учебных заведений
по направлению «Водоснабжение
и водоотведение»**

Редактор *И.С. Волоскова*
Компьютерная верстка *Д.Ю. Иванова*

Подписано в печать 24.07.2019
Печать офсетная. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.
Объем 20,75 п. л. Тираж 100 экз. Заказ 16

Издательство КРСУ
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Анкара, 2а