КАНАЛИЗАЦИЯ

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Водоснабжение и канализация»

МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1975

УДК 628.2(075.8)

Рецензент: кафедра Горьковского инженерно-строительного института им. В. П. Чкалова (зав. кафедрой д-р техн. наук П. И. Пискунов)

Авторы: С. В. Яковлев, Я. А Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов

Канализация. Учебник для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1975. 632 с. Авт : С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов.

В учебнике рассмотрены основные вопросы проектирования, устройства и эксплуатации систем канализации населенных пунктов и промышленных предприятий. Подробно изложены современные методы очистки сточных вод. Даны примеры комплексного решения районных схем канализации. Приведены расчеты канализационных сооружений.

Учебник предназначен для студентов строительных вузов, обучающихся по специальности «Водоснабжение и канализация».

Табл. 132, рис. 331, список лит : 43 назв.

К $\frac{30210-737}{047(01)-75}$ 284—75

© Стройиздат, 1975

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предусмотренные государственным планом развития народного хозяйства грандиозные масштабы жилищного и промышленного строительства обусловливают необходимость дальнейшего увеличения объема и повышения темпов строительства канализационных систем. Осуществление строительства и эксплуатации систем канализации должны возглавить высококвалифицированные кадры.

Вопросам, связанным с охраной окружающей среды и, в частности, с удалением, транспортированием, очисткой, обезвреживанием и обеззараживанием сточных вод, в нашей стране 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 канализационных сооружений, технико-экономических расчетов возможных вариантов и т. д.

Формирование инженеров такого широкого профиля обусловливает включение в учебный план специальности «Водоснабжение и канализация» необходимых дисциплин: гидравлика, насосы и насосные станции, специальная химия и микробиология, электротехника, автоматизация, теплотехника, детали машин, гидрология, инженерная геология и гидрогеология, гидротехнические сооружения и др. Изучение перечисленных дисциплин должно предшествовать прохождению соответствующих разделов курса «Канализация».

Настоящий учебник подразделяется на две основные части: канализационная сеть и сооружения для очистки сточных вод.

Учебник охватывает все вопросы, входящие в курс «Канализация». Способы сбора и удаления сточных вод внутри зданий и сооружений, а также конструкции насосов и режим их работы изложены в специальных учебниках.

Последовательность изложения материала соответствует программе курса, утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования СССР.

При написании учебника использованы новейшие литературные материалы, а также опыт строительных и эксплуатационных организаций (треста Мосочиствод), научно-исследовательских и проектных институтов и лабораторий — Мосводоканалниипроекта, Гипрокоммунводоканала, Союзводоканалниипроекта, ЦНИИЭП инженерного оборудования, Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, ВНИИ ВОДГЕО, МИСИ им. В. В. Куйбышева, ЛИСИ.

Отдельные главы учебника написаны: предисловие и введение — докторами техн. наук профессорами А. И. Жуковым и С. В. Яковлевым, главы I—XI — канд. техн. наук, доц. С. К. Колобановым; главы

XII, XIV—XVII (кроме § 96), XXI—XXIV, XXVI—XXVIII — д-ром техн. наук, проф. Я. А. Карелиным; главы XIII и XVIII—XX и § 96 — д-ром техн наук, проф. С. В. Яковлевым; глава XXV — профессорами А. И. Жуковым и Я. А. Карелиным.

Авторы выражают глубокую признательность коллективу кафедры «Канализации» МИСИ за большую помощь, оказанную в переработке данной рукописи.

Все замечания и указания на недостатки, обнаруженные при чтении учебника, авторы просят направлять по адресу: 113114, Москва, Шлюзовая набережная, 8, МИСИ имени В. В. Куйбышева, кафедра «Канализации».

Под канализацией 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 [1].

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 загнивать и служить питательной средой, обусловливающей возможность массового 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.

Задачи по удалению и ликвидации бытовых отбросов на различных этапах развития общества решались по-разному.

Наиболее простым и удовлетворяющим санитарным требованиям 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 в. до н. э. в Риме был построен знаменитый канал «клоака максима», частично используемый в современной канализации Рима. 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 слаборазвитой 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 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.

[1] 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 курсе «Канализация» не рассматриваются.

Широко распространившиеся инфекционные заболевания и участившиеся эпидемии, опустошавшие Европу, вызвали необходимость строительства водопровода, а затем и канализации. Статистические данные показали, что после устройства водоснабжения и канализации заболеваемость и смертность населения значительно уменьшились. Особенно сильно снизилось число кишечных заболеваний.

Одной из важнейших положительных сторон устройства канализации (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 канализации плотность населения и этажность застройки практически не ограничиваются.

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

После длительного периода застоя в средневековье интенсивное строительство канализации началось в Европе лишь в XIX в. Наибольший объем оно получило в Англии, которая одной из первых встала на путь промышленного развития и где быстрее всего происходил рост городов. Канализационные системы, хотя и малосовершенные, имелись в Англии в 1833 г. более чем в 50 городах. Значительно позже началось строительство канализации в Германии (Гамбург — с 1843 г., Штеттин — с 1862 г., Франкфурт-на-Майне — с 1867 г., Данциг — с 1870 г., Берлин — с 1873 г. и т. д.). К 1870 г. в Германии насчитывалось более 50 крупных городов, имевших канализацию. Медленно развивалось канализование городов Франции, хотя канализование самого Парижа было начато еще во второй половине XIV столетия. Более быстрым темпом шло строительство канализации городов США — к 1902 г. было канализовано около 1000 городов.

Строительство в городах Европы и Америки канализации, 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.

Первые известные подземные каналы для отвода сточных вод в России были устроены еще в XIV в. (Новгород, Кремль в Москве). Однако в последующем Россия отставала в темпах и объеме канализационного строительства от других стран. В середине XVIII в. в Петербурге началось широкое применение каналов, в том числе крупных (3,8×3,6 м), для отвода атмосферных вод. В эти каналы поступали и бытовые воды. В 1832 г. протяженность водостоков Петербурга составляла уже 95 км и превышала протяженность сетей Парижа.

В Москве к 1825 г. были построены крупные Самотечный и Неглинный каналы, служившие для отвода атмосферных и сточных вод от зданий. В 1829 г. было начато строительство канализации в г. Старая Русса. Затем канализация была построена и в ряде других городов: Феодосии (1840 г.), Одессе и Тифлисе (1874 г.), Царском Селе (1880 г.), Гатчине (1882 г.), Ростове-на-Дону и Киеве (1893 г.), Москве (1898 г.).

Саратове и Севастополе (1910 г.), Харькове (1914 г.), Нижнем Новгороде (1916 г.). Уже в то время некоторые города имели достаточно совершенные очистные сооружения в виде полей орошения (Москва, Одесса, Киев).

После Великой Октябрьской социалистической революции вместе с ростом городов началось более быстрое строительство канализации. 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 пропускной способностью около 2 млн. м³/сутки и Люберецкая пропускной способностью около 1,5 млн м³/сутки. В настоящее время пропускная способность очистных станций Москвы превышает 4 млн. м³/сутки и продолжает увеличиваться.

Большое распространение получили индустриальные методы производства работ по постройке канализационных сооружений, в частности щитовая проходка при прокладке коллекторов, сборные конструкции коллекторов и сооружений. Для значительной части канализационных 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.

В условиях социалистического строя стало осуществимым то, что было невозможным при капитализме. Если в царской России в условиях частной собственности разрешение вопросов, связанных с канализованием городов, постоянно наталкивалось на непреодолимые препятствия, то в СССР широко применяется комплексное решение проблем благоустройства целых районов. Таковы генеральные схемы водоснабжения и канализации крупных промышленных районов: Донбасса, Криворожья, Кемерово и др. Районные схемы водоснабжения и канализации, разрабатываемые в обязательном порядке при составлении проектов планировки и реконструкции городов, дают возможность планового проведения мероприятий по защите от загрязнения почвы, воды и воздуха, оздоровления целых рек и речных бассейнов.

Водоемы нашей страны являются общенародным достоянием. Партия и правительство принимают решительные и эффективные меры по сохранению их чистоты.

Верховным Советом СССР принят закон об основах водного законодательства СССР и союзных республик. Этот важный законодательный акт призван способствовать более эффективному, научно обоснованному использованию вод для нужд населения и народного хозяйства и охране их от загрязнения, засорения и истощения. Важнейшими государственными актами, посвященными охране вод от загрязнения, явились постановления Совета Министров СССР «Об усилении государственного контроля за использованием подземных вод и мероприятиях по их охране» и «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР».

Высокое качество воды в водоемах в настоящее время определяется «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и «Положением об охране рыбных запасов и о регулировании рыболовства в водоемах СССР».

Принятый Верховным Советом СССР закон об охране окружающей среды и постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» четко и конкретно определяют обязанности министерств, ведомств и хозяйственных учреждений по строительству необходимых сооружений и осуществлению охранных мероприятий.

Для предотвращения загрязнений водоемов сточными водами в последние годы в нашей стране ведется интенсивное строительство очистных сооружений для городов и промышленных предприятий; в стране в среднем в год строится не менее 1000 очистных сооружений.

Для обслуживания непрерывно возрастающего городского населения при повышающихся нормах водопотребления и водоотведения потребуется значительно увеличить пропускную способность городских канализаций. В связи с этим в течение ближайших лет необходимо увеличить протяженность канализационных 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. Особенно много предстоит очищать производственных сточных вод.

Большая работа в области санитарной техники, в частности в области совершенствования систем канализации и очистки сточных вод населенных пунктов и промышленных предприятий, проделана нашими учеными, инженерами, техниками и новаторами производства.

Огромная роль в развитии водопроводно-канализационного дела и его научных основ принадлежит нашим научно-исследовательским институтам и организациям (ВНИИ ВОДГЕО, Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, Научно-исследовательскому отделу треста Мосочиствод, Московскому научно-исследовательскому институту санитарии и гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, МИСИ им. В. В. Куйбышева, ЛИСИ и др.), а также специализированным проектным организациям (Союзводоканалниипроекту, Гипрокоммунводоканалу, Мосводоканалниипроекту, Мосгражданпроекту и др.), ведущим научные и проектные работы по усовершенствованию существующих и разработке новых, более эффективных способов очистки сточных вод и работающим над другими проблемами водоснабжения и канализации.

Советская наука и техника достигли больших успехов в области транспортирования и очистки сточных вод.

Особенно продуктивные исследования были проведены на сооружениях московской канализации. В результате работ проф. С. Н. Строганова, инж. И. Г. Поварнина, проф. К. Н. Королькова были созданы теоретические основы и метод расчета очистных сооружений и предложен новый тип установок — аэрофильтры; положено начало исследованию вопросов анаэробного распада органических веществ в осадке сточных вод. Запроектированная и построенная с учетом результатов исследований Кожуховская станция аэрации явилась школой для целого поколения советских инженеров, определивших дальнейшее направление исследований в области очистки сточных вод, а также опередивших своими работами иностранных специалистов.

В создании дисциплины «Канализация» большая заслуга принадлежит профессорам В. Е. Тимонову и В. Ф. Иванову, написавшим капитальные труды по канализации населенных пунктов.

Ценный вклад в развитие гидравлического расчета канализационных сетей и водостоков внесли акад. Н. Н. Павловский, профессора А. Я. Милович, П. Ф. Горбачев, Н. Н. Белов и др.

Крупными исследователями в области очистки сточных вод были профессора А. А. Фадеев, Н. Н. Худяков, Я. Я. Никитинский, Н. А. Базякина и М. М. Калабина. В области санитарии и гигиены большие работы проведены профессорами Ф. Ф. Эрисманом и А. Н. Сысиным.

Большая заслуга в деле подготовки кадров и специалистов в области канализации принадлежит профессорам Н. А. Алексееву, П. С. Белову, Б. О. Ботуку, З. Н. Шишкину, А. И. Жукову и др.

Решениями партии и правительства 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 важное 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 канализационных сооружений.

Раздел первый

СИСТЕМЫ И СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

Глава I

КЛАССИФИКАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД И СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ КАНАЛИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

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

Внутренняя канализация служит для приема сточных вод в местах их образования и для отведения за пределы здания в наружную канализационную сеть. *Наружная канализация* 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[1] (хозяйственно-фекальные), производственные (промышленные) и дождевые (атмосферные).

[1] Термин «бытовые» сточные воды нередко отождествляют с названием «городские» сточные воды, что следует считать устаревшим. 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* 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 являются 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 $м^3$/сутки, $м^3$/ч, $м^3$/с, л/с.

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 $м^3$/год.

Для городов европейской части СССР расход дождевого стока в среднем один раз в году может достигать 100—150 л/с с 1 га, а один раз в 10 лет — 200—300 л/с с 1 га. Вместе с тем суммарный за весь год дождевой сток с застроенных территорий не превышает 1500—2000 $м^3$ с 1 га. Таким образом, в средних условиях европейской территории СССР 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 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/$м^3$.

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 сточных 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 вы-

пускают 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 канализации 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 вод.

§ 2. СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

Под системой канализации принято понимать совместное или раздельное отведение сточных вод трех категорий. В практике наиболее широкое распространение получили общесплавная и раздельные системы канализации.

Общесплавными называют системы канализации, 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 канализации, 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.

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

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

Производственной называют канализационную сеть промышленного предприятия, предназначенную для приема и отведения только загрязненных производственных сточных вод (при отдельном их удалении); *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 канализации.

Раздельная система канализации может быть полной или неполной.

Полной раздельной называют систему, включающую две или несколько совершенно самостоятельных канализационных сетей сеть, по которой отводят только дождевые или дождевые и условно производственные воды; сеть для отвода бытовых и части загрязненных производственных вод, допускаемых к спуску в бытовую канализацию, сеть, по

которой отводят загрязненные производственные воды, не допускаемые к совместному отведению с бытовыми.

Неполной раздельной называют систему канализационных 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 канализации.

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

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

Глава II

СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

§ 3. КАНАЛИЗАЦИЯ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Схемой канализации называют технически и экономически обоснованное проектное решение принятой системы канализации с учетом местных условий и перспектив развития объекта канализования.

Каждая система канализации 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 канализационные сооружения любой системы и схемы канализации по своему назначению делятся на две основные группы.

К первой группе относят оборудование и сооружения, предназначенные для приема и транспортирования сточных вод: а) внутренние канализационные устройства; б) наружную канализационную 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 канализационные 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 (рис. 1.1). Санитарные приборы устанавливают в кухнях, туалетных и ванных комнатах жилых, общественных и производственных зданий.

Сточные воды из приемников поступают в отводные трубы, а затем в стояки внутренней канализационной сети. Стояки прокладывают по

стенам внутри отапливаемых помещений или в монтажных шахтах, блоках и санитарно-технических кабинах. Их выводят через чердачное помещение выше крыши. Вследствие обогрева стояков в отапливаемых помещениях в них создается тяга воздуха, что обеспечивает вентиляцию внутренней и наружной канализационной сети. Верхнюю часть стояка называют вытяжной трубой, на конце ее устанавливают дефлектор (флюгарку).

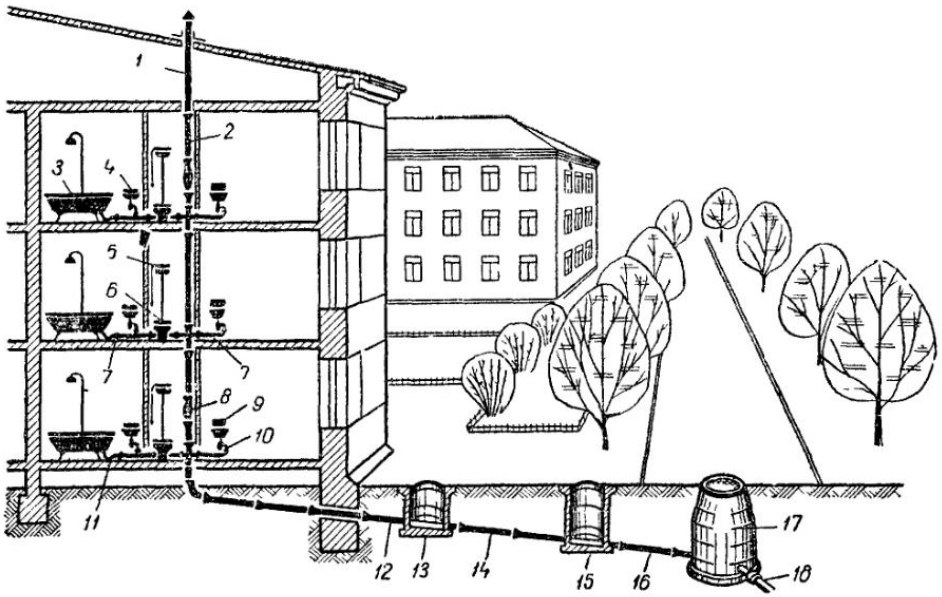


Рис. 1.1. Схема внутренней канализации

1 — вытяжная вентиляционная труба; *2* — стояк; *3* — ванна; *4* — умывальник; *5* — смывной бачок; *6* — унитаз, *7* — отводная труба; *8* — ревизия; *9* — мойка или раковина на кухне; *10* — гидравлический затвор; *11* — напольный сифон; *12* — выпуск; *13* — смотровой колодец на дворовой сети; *14* — дворовая сеть; *15* — контрольный колодец; *16* — соединительная ветка; *17* — смотровой колодец на уличной сети; *18* — уличная сеть

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 канализационную сеть (рис. 1.2). В месте присоединения каждого выпуска к дворовой или внутриквартальной канализационной сети устраивают смотровой колодец, который предназначается 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 канализационную сеть в производственных помещениях устраивают аналогично внутренней домовой сети из чугунных или пластмассовых труб в виде стояков, отводных труб и выпусков.

Наружной канализационной сетью называют уложенную с уклонами разветвленную подземную сеть труб и каналов, отводящую сточ-

ные воды самотеком к насосной станции, очистным сооружениям или в водоем. В зависимости от назначения, места укладки и размеров наружные канализационные сети называют: дворовой — уложенной в пределах одного владения; внутриквартальной — уложенной внутри квартала (см. рис. 1.2); заводской — уложенной на территории промышленных предприятий; уличной — уложенной по улицам и проездам и принимающей сточные воды из дворовых, внутриквартальных и заводских сетей.

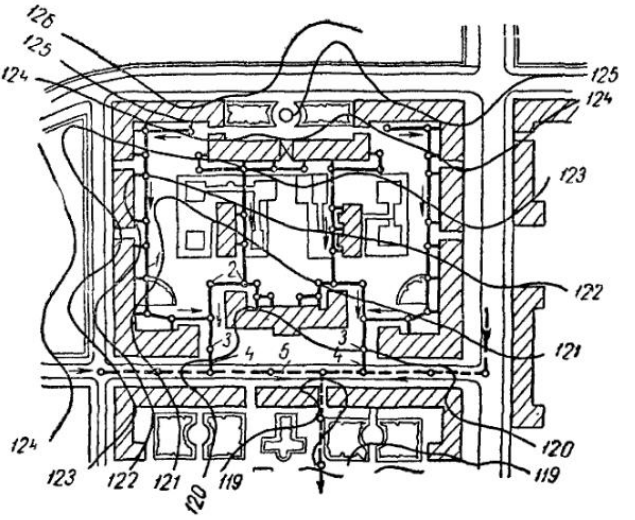


Рис. 1.2. Схема внутриквартальной канализационной сети

1 — внутриквартальная сеть; *2* — смотровые колодцы; *3* — контрольные колодцы; *4* — соединительная ветка; *5* — уличная сеть

Для контроля за работой дворовой и внутриквартальной сетей в конце их устраивают смотровой колодец, который называют *контрольным* (см. рис. 1.1 и 1.2). Участок 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 канализуемую территорию населенного места делят на бассейны канализования (рис. 1.3).

Бассейном канализования называют часть канализуемой территории, ограниченную водоразделами.

Участок канализационной сети, собирающий сточные воды из одного или нескольких бассейнов канализования, называют *коллектором.*

Коллекторы подразделяют на: а) коллекторы бассейна канализования, собирающие сточные воды из канализационной сети одного бассейна; б) главные коллекторы, собирающие сточные воды двух или нескольких коллекторов бассейнов канализования; в) загородные (или отводные) коллекторы, отводящие сточные воды транзитом (без присоединений) за пределы объекта канализования к насосным станциям, очистным сооружениям или к месту выпуска в водоем. В крупных городах с сильно развитой городской сетью коллекторы больших размеров нередко называют *каналами.*

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

С реками, оврагами и железными дорогами коллекторы пересекаются с помощью дюкеров, переходов, эстакад (см. гл. IX). 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 (см. гл. XII).

В зависимости от назначения канализационные 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 канализования; в) главные, перекачивающие основную часть или все количество сточных вод канализуемого населенного пункта или промышленного предприятия.

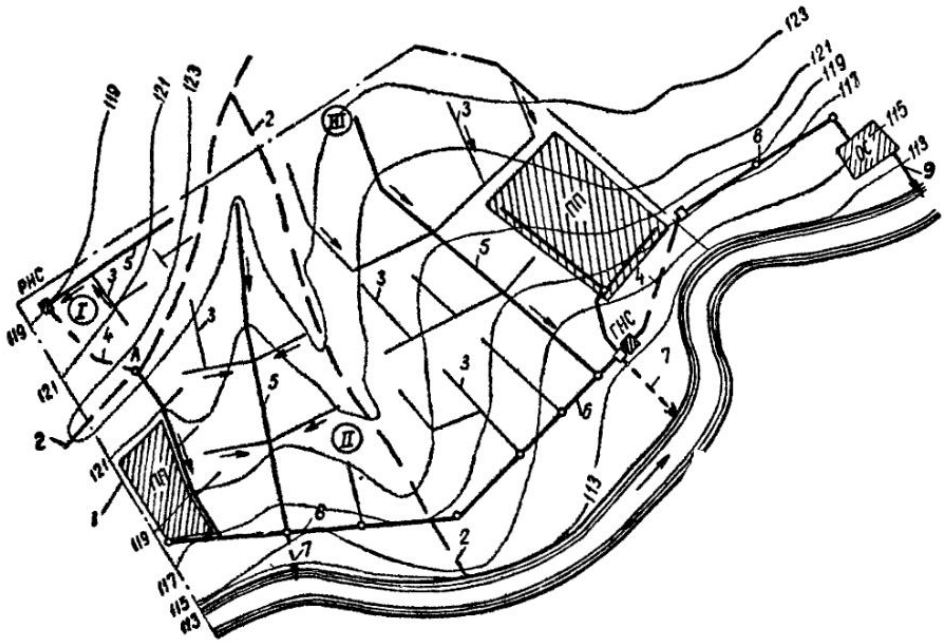


Рис. 1.3. Общая схема и основные сооружения канализации населенного пункта

I—III — бассейны канализования; *1* — граница города; *2*—границы бассейнов канализования; *3*—уличная сеть; *4* — напорные водоводы; *5* — коллекторы; *6* — главный коллектор; *7* — аварийные выпуски; *8* — загородный или отводной коллектор; *9* — выпуск в водоем

На схеме канализации города, имеющего промышленное предприятие *ПП* (см. рис. 1.3), из бассейна канализования *I*, расположенного на пониженных отметках, не представляется возможным отводить сточные воды самотеком в главный коллектор. Поэтому в наиболее пониженной точке этого бассейна устроена районная насосная станция *РНС*, которая перекачивает сточные воды по напорному трубопроводу в верховье (точка *А*) ближайшего самотечного главного коллектора. На этой схеме канализации имеется главная насосная станция *ГНС*, перекачивающая все сточные воды на очистную станцию *ОС*.

Очистные станции предназначены для очистки сточных вод и обработки осадков; они компонуются 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 станциями также устраивают выпуски для сброса сточных вод в водоем без очистки в случае аварии; эти выпуски называют аварийными.

При составлении схемы общесплавной системы канализации на главном коллекторе предусматривают устройство ливнеспусков 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 канализации.

§ 4. СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Схемы канализационной 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 канализационной сети. В качестве приближенной классификации можно указать на схемы, приведенные на рис. 1.4.

В первоначальный период строительства канализаций, когда сточных вод было мало и к их очистке не предъявлялось строгих требований, коллекторы бассейнов канализования трассировались по наикратчайшему направлению перпендикулярно водоему, если этому не препятствовал рельеф местности. Такую схему канализационной сети называли *перпендикулярной* (рис. 1,4, *а*). 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* (см. рис. 1.3 и 1.4, *б*). 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), канализуемые самостоятельно. Такую схему канализационной сети называют *поясной* или *зонной* (рис. 1.4, *в*). 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 канализационной сети, показанную на рис. 1.4, *г*, называют *радиальной* или децентрализованной. Такая схема имеет несколько очистных станций.

Схемы канализационной сети промышленных предприятий аналогичны схемам канализационной 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 канализационных сетей.

На рис. 1.5 приведена одна из возможных схем канализационной сети промышленного предприятия *ПП* с жилым поселком. Здесь представлена полная раздельная система канализации с тремя совершенно самостоятельными канализационными 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 *ОС*. Производственно-дождевая сеть принимает атмосфер-

ные 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 *МОС*. 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 водами. Очищенные воды сбрасываются в водоем через выпуск.

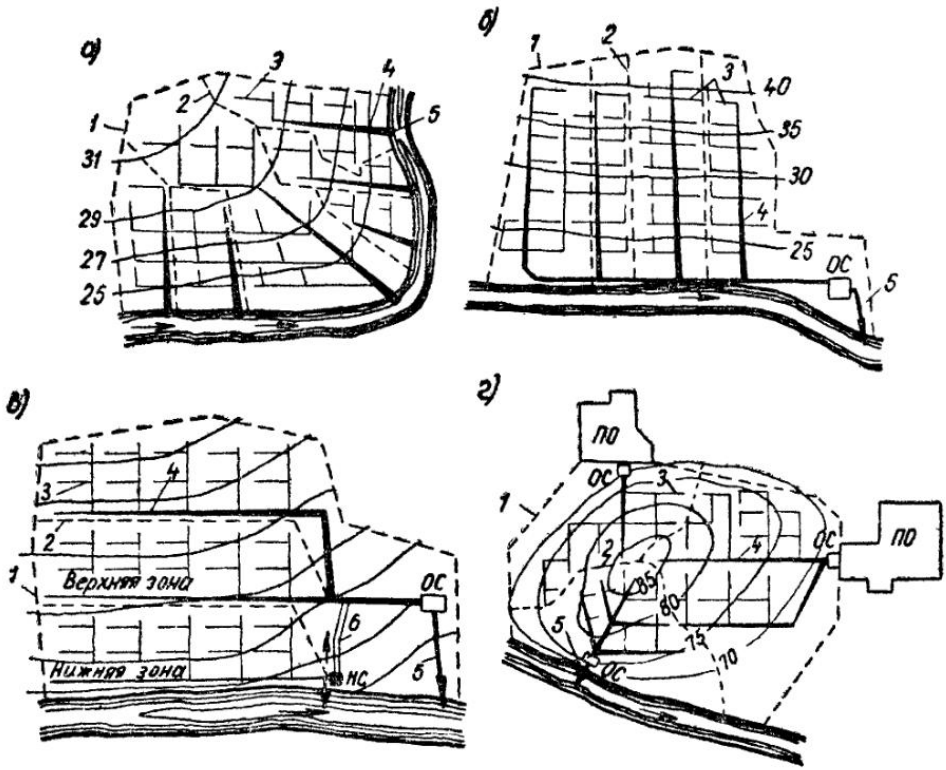


Рис. 1.4. Схемы канализации

1 — граница города, *2* — границы бассейнов канализования; *3* — уличная сеть; *4* — коллекторы; *5* — выпуски, *6* — напорный водовод; *ОС* — очистные станции; *НС* — насосные станции; *ПО* — поля орошения

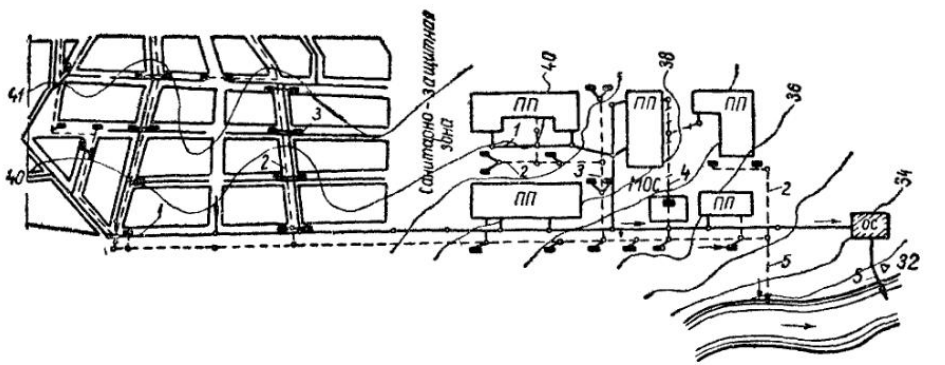


Рис. 1.5. Полная раздельная система канализации промышленного предприятия с поселком

1 — производственно-бытовая сеть; *2* — производственно-дождевая сеть; *3* — дождеприемники; *4* — сеть загрязненных производственных сточных вод; *5* — выпуски

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

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

Децентрализованные схемы канализационной сети применяют при канализовании крупных городов в условиях как сильно пересеченного, так и очень плоского рельефа местности. В этом случае устраивают районную канализацию с самостоятельными очистными сооружениями (см. рис. 1.4, *г*). По децентрализованной схеме построены канализации Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Берлина, Лондона, Токио, Нью-Йорка и других городов.

§ 5. РАЙОННЫЕ (РЕГИОНАЛЬНЫЕ) СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

Для нескольких близко расположенных населенных пунктов и предприятий в промышленных и густонаселенных районах страны применяют районные (региональные) схемы канализации. В этих схемах

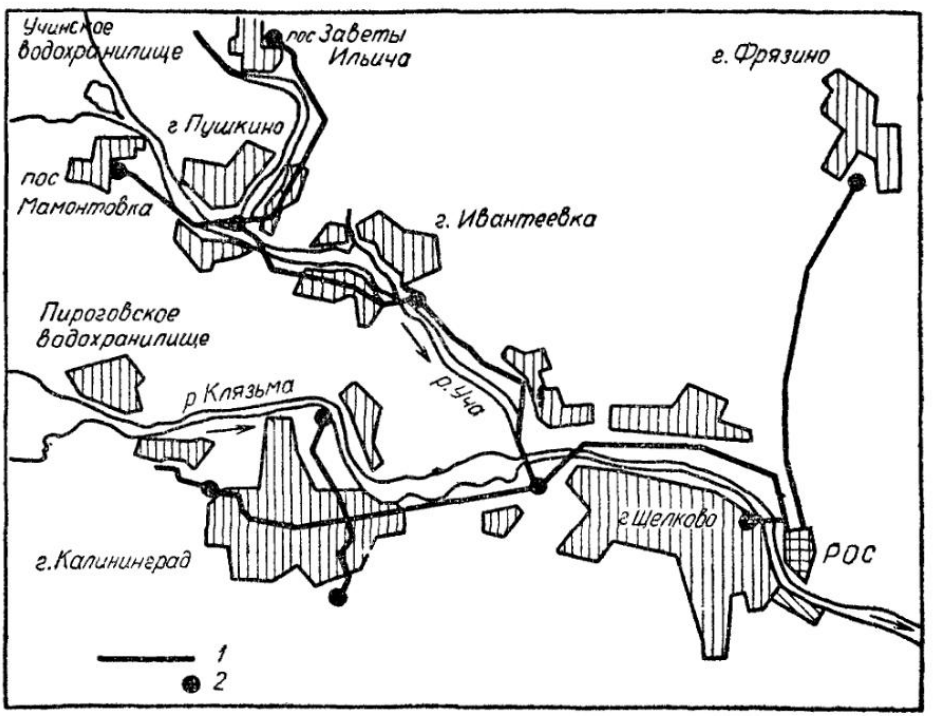


Рис. 1.6. Районная (региональная) схема канализации

1 — магистральные коллекторы; *2* — насосные станции; *РОС* — районная очистная станция

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.

На рис. 1.6 представлена районная схема канализации одного из районов Подмосковья для ряда населенных пунктов и промышленных предприятий с единой районной очистной станцией (РОС) пропускной способностью 200 тыс. м³/сутки. 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 Клязьмы и Учи.

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

Районные системы канализации построены в Донецком, Криворожском, Кузнецком бассейнах и в других промышленных районах и узлах, а также на Кавказском и Крымском побережье Черного моря.

Сооружение районных канализаций 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 тыс. и 1,5 млн. жителей и заменили 26 и 28 локальных очистных станций. Примером решения районной промышленной канализации 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 канализации с одной очистной станцией, на которой предусмотрено повторное использование очищенных сточных вод в техническом водоснабжении. Районные канализации промышленных комплексов встречаются и в других странах.

Глава III

ВЫБОР СИСТЕМЫ И РАЗРАБОТКА СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

§ 6. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ

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

В санитарном отношении общесплавная канализация была бы наиболее благоприятной, если бы на главных и отводных коллекторах не устраивались ливнеспуски для сброса во время дождя смеси загрязненных и дождевых вод в открытые водоемы в пределах города (см. гл. XIII). Делается это с целью уменьшения сечений главных коллекторов и напорных трубопроводов, уменьшения мощности насосных и очистных станций, снижения сравнительно высоких первоначальных строительных затрат; указанное допускается по тем соображениям, что во время ливней количество дождевых вод во много раз превышает количество бытовых и производственных сточных вод (см. § 1), а концентрация загрязнений в смеси вод становится значительно меньше, чем в бытовых сточных водах. Количество загрязнений в годовом стоке дож-

девых 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 ч в год).

Следует учесть, что при малоэтажной и рассредоточенной застройке общесплавные канализации 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 загнивание. 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 канализационную сеть существует и в период паводков для районов города, расположенных ниже горизонта паводочных 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 канализации 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 канализации 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. 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 канализации 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 канализации по санитарным показателям является наилучшей по сравнению с общесплавной и раздельной системами. 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 ($БПК_5$) от 5,8 до 16,5% от загрязнений в общем дождевом стоке с территории объекта канализования. 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 канализации путем закладки коллекторов глубокого заложения (см. § 24).

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

Большинство канализаций в СССР 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 канализации 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.

§ 7. ВЫБОР СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

Систему и схему канализации 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 канализации населенных пунктов в первую очередь необходимо установить схему отведения и определить места выпуска дождевых вод. Выпуск дождевых вод при выборе любой системы канализации 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 канализации руководствуются следующими рекомендациями.

Полную раздельную систему канализации 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 (см. гл. XIII); г) при необходимости полной биологической очистки сточных вод.

Неполную раздельную систему канализации целесообразно устраивать в городах и поселках городского и сельского типов, где применение такой системы совместимо с общим уровнем благоустройства, или допускать ее как первую очередь строительства раздельной системы канализации.

Полураздельную систему канализации целесообразно принимать: а) для городов с числом жителей более 50 тыс.; 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 канализации применяют для городов с многоэтажной застройкой: а) при наличии на территории канализования 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 рас-

четной интенсивности дождя продолжительностью 20 мин менее 80 л/с на 1 га.

Комбинированная система объединяет элементы общесплавной и полной раздельной систем канализации. Ее целесообразно применять при реконструкции и расширении канализации 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 применены в Ленинграде, Одессе, Риге и других городах. В зарубежных странах они составляют 33—34% всех систем. Большинство крупных городов мира канализовано по общесплавной или по комбинированной системе.

Канализование промышленных предприятий следует осуществлять, как правило, по полной раздельной системе (см. рис. 1.5). В системе дождевой канализации 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 (незагрязненных производственных вод) канализаций, а также специальные производственные сети для отведения кислых, щелочных, шламовых и других сточных вод (см. гл. XXV).

Схемы канализации 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 канализации и возможность их использования.

Районные (региональные) схемы канализации 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 канализации должны учитываться: а) количество и концентрация сточных вод всех категорий как на первую очередь строительства, так и на расчетные сроки развития обслуживаемого канализацией 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 загрязненных 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 канализации во всех случаях должен производиться с учетом санитарно-гигиенических требований и технико-экономических расчетов.

При этом выбирают такие схемы и систему канализации, 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 (см. гл. XXVIII).

§ 8. УСЛОВИЯ ПРИЕМА СТОЧНЫХ ВОД В КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ СЕТИ

Возможность приема различных категорий сточных вод в канализационные сети раздельной и общесплавной систем канализации определяется исходя из состава загрязнений этих вод и целесообразности совместной их очистки с учетом санитарно-гигиенических и технико-экономических показателей (табл. 1.1).

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.

Совместные отведение и очистка бытовых и производственных сточных вод, как правило, являются наиболее целесообразными по технико-экономическим показателям, однако в ряде случаев оказываются недопустимыми из-за наличия в производственных сточных водах вредных и ядовитых веществ. 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 смеси сточных вод концентраций вредных веществ, опасных для обслуживающего персонала и нарушающих биологические процессы очистки. Предельные допустимые концентрации (ПДК) различных ядовитых веществ приводятся в СНиП, в правилах технической эксплуатации канализации и правилах приема производственных сточных вод в общегородские канализации, издаваемых республиканскими министерствами 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 канализационные сети только после предварительной очистки (см. раздел пятый).

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

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

В городские канализации 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 объ-

Таблица 1.1

Условия приема сточных вод в канализационные сети

Категория сточных вод	Система канализации				
	Раздельная сеть				Общесплавная сеть
	бытовая	производственно-бытовая	дождевая		
			закрытая	открытая	
Бытовые					
От жилых, общественных, коммунальных и производственных зданий	+	+	—	—	+
От инфекционных отделений больниц, карантинов, 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 отбросов . .	+	+	—	—	+
От моек автомашин (после пропуска 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	+	+	—	—	+
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)	+	+	+	+	+

Продолжение табл. 1.1

Категория сточных вод	Система канализации				
	Раздельная сеть				Общесплавная сеть
	бытовая	производственно-бытовая	дождевая		
			закрытая	открытая	
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 Государственного санитарного надзора	—	+
Загрязненные воды после карантинов при мясокомбинатах, воды кожевенных заводов и биофабрик, имеющие инфекционные загрязнения, после очистки и хлорирования	+	+	То же	—	+

Примечание. Сточные воды, допускаемые к приему в канализацию, отмечены знаком «+», а не допускаемые — знаком «—».

емными 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 канализации. 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 pH ниже 6,5 и выше 9 и не должны иметь концентрацию взвешенных веществ и всплывающих примесей более 500 мг/л.

На сетях производственных канализаций 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.

§ 9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СПЛАВА СНЕГА, ЖИДКИХ И ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ОТБРОСОВ

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

Для приема жидких нечистот и помоев устраивают сливные станции и сливные пункты (см. гл. XXIV). Нечистоты и помои из неканализованных районов перевозятся ассенизационным обозом на сливные станции; здесь они разбавляются водой в два-три раза, пропускаются через решетки и песколовки и сплавляются в канализационную 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—3 мм.

При измельчении отбросов в дробилки подают воду в объеме, в 8—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 канализационную сеть не приводит к ее засорению и является экономически целесообразным в связи с уменьшением затрат на вывозку и обезвреживание их.

Норму отбросов по сухому веществу на одного человека принимают равной 70—100 г/сутки, из них способных к осаждению— 40—60 г.

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

Сплавлять свежевыпавший чистый снег разрешается по дождевым сетям, если по ним транспортируются сточные воды, а также по общесплавным, бытовым и производственно-бытовым, 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 канализационным 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 канализационной сети не учитывается, а количество талых вод, поступающих на очистные сооружения, необходимо учитывать.

Раздел второй
РАСЧЕТ СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ

Глава IV
РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД

§ 10. 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 канализации называют промежуток времени, в продолжение которого канализация будет иметь необходимую мощность (пропускную способность) и удовлетворять своему назначению без реконструкции. Расчетный период действия канализации определяется для городов и поселков проектом планировки (20—25 лет), а для промышленных предприятий — расчетным сроком работы предприятия на полную производительность.

Расчетное население $N_р$ устанавливают по проекту планировки города на каждый период развития канализации (на расчетный период, на первую очередь) с учетом роста населения. При определении расчетного населения кварталов и микрорайонов города исходят из плотности населения p, т. е числа жителей на 1 га канализуемой территории.

Если при расчетах учитывают селитебную площадь, то такую плотность называют *плотностью населения по селитебной территории* $p_с$. Если при исчислении плотности учитывают только площадь застройки жилых кварталов или микрорайонов, то получают *плотность населения жилого квартала или микрорайона* $p_к$.

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 производят более детальные подсчеты, а также при расчетах наружной сети, когда требуется определить расход сточных вод для небольшой площади, прилегающей к рассматриваемому участку канализационной линии, 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 $N_р$ по формуле

$$N_р = \Sigma pF\beta, \qquad (2.1)$$

где p — плотность населения: по кварталам $p_к$ или по селитебной территории $p_с$;

F — площадь с одинаковой плотностью населения: жилых кварталов $F_к$ или селитебной территории $F_с$;

β — коэффициент обслуживания канализацией; 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 канализацией.

§ 11. НОРМЫ 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 (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Нормы водоотведения бытовых сточных вод населенных мест

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

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 II-Г.1-70 «Внутренний водопровод зданий. Нормы проектирования»).

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

Нормы водоотведения бытовых сточных вод от промышленных предприятий, вспомогательных зданий и обслуживающих зданий общественного назначения принимают равными нормам водоотведения по СНиП II-Г.1-70 и исчисляют на одного работающего: в цехах с тепловыделениями более 84 кДж/ч на 1 м^3 объема помещения — 45 л/смену с коэффициентом неравномерности 2,5 и 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: для групповых душевых — 500 л на одну душевую сетку, а для индивидуальных душей в бытовых помещениях — 40 и 60 л на одну процедуру в зависимости от требований санитарного режима.

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

На перспективное развитие канализации (20—25 лет) количество сточных вод определяют по нормам водоотведения (по табл. 2.1) с коэффициентом неравномерности 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—10% исходной воды. Поэтому для уменьшения количества производственных сточных вод целесообразно там, где позволяет технологический процесс, применять оборот воды в производстве или повторное использование ее в других цехах и производствах.

§ 12. КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ

При проектировании канализации 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 $K_{сут}=1{,}1$ ... 1,3 в зависимости от местных и климатических условий.

Коэффициентом часовой неравномерности водоотведения $K_ч$ называют отношение максимального часового расхода к среднему часовому расходу в сутки наибольшего водоотведения.

При расчете канализационной 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:

$$K_{общ} = K_{сут} K_ч. \qquad (2.2$$

Таблица 2.2

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	2,5	2,0	1,8	1,6	1,4	1,35	1,25	1,2	1,15)

При расчете канализационной сети населенных мест $K_{общ}$ принимают по СНиП в зависимости от значений средних секундных расходов (табл. 2.2).

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 неравномерности водоотведения принимают равным единице, а коэффициент часовой неравномерности водоотведения—в соответствии с действующими нормами (СНиП II-Г.1-70).

Коэффициенты часовой неравномерности водоотведения производственных сточных вод определяются технологическими условиями, они колеблются в широких пределах (см. гл. XXV).

Глава V

РАСЧЕТНЫЕ РАСХОДЫ СТОЧНЫХ ВОД

§ 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ СТОЧНЫХ ВОД

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

Расчетным называют максимальный расход сточных вод, пропуск которого должны обеспечить канализационные 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 секундный 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:

$$Q_{ср.сут} = \frac{nN_р}{1000}; \tag{2.3}$$

$$Q_{ср.ч} = \frac{nN_р}{24 \cdot 1000}; \tag{2.4}$$

$$q_{ср.с} = \frac{nN_р}{24 \cdot 3600}; \tag{2.5}$$

$$Q_{макс.сут} = \frac{nN_р}{1000} K_{сут}; \tag{2.3а}$$

$$Q_{макс.ч} = \frac{nN_р}{24 \cdot 1000} K_{общ}; \tag{2.4а}$$

$$q_{макс.с} = \frac{nN_р}{24 \cdot 3600} K_{общ}, \tag{2.5а}$$

где n — норма среднего водоотведения на одного жителя, л;
$N_р$ — расчетное население;
$K_{сут}$ — коэффициент суточной неравномерности водоотведения;
$K_{общ}$ — общий коэффициент неравномерности водоотведения (по табл. 2.2).

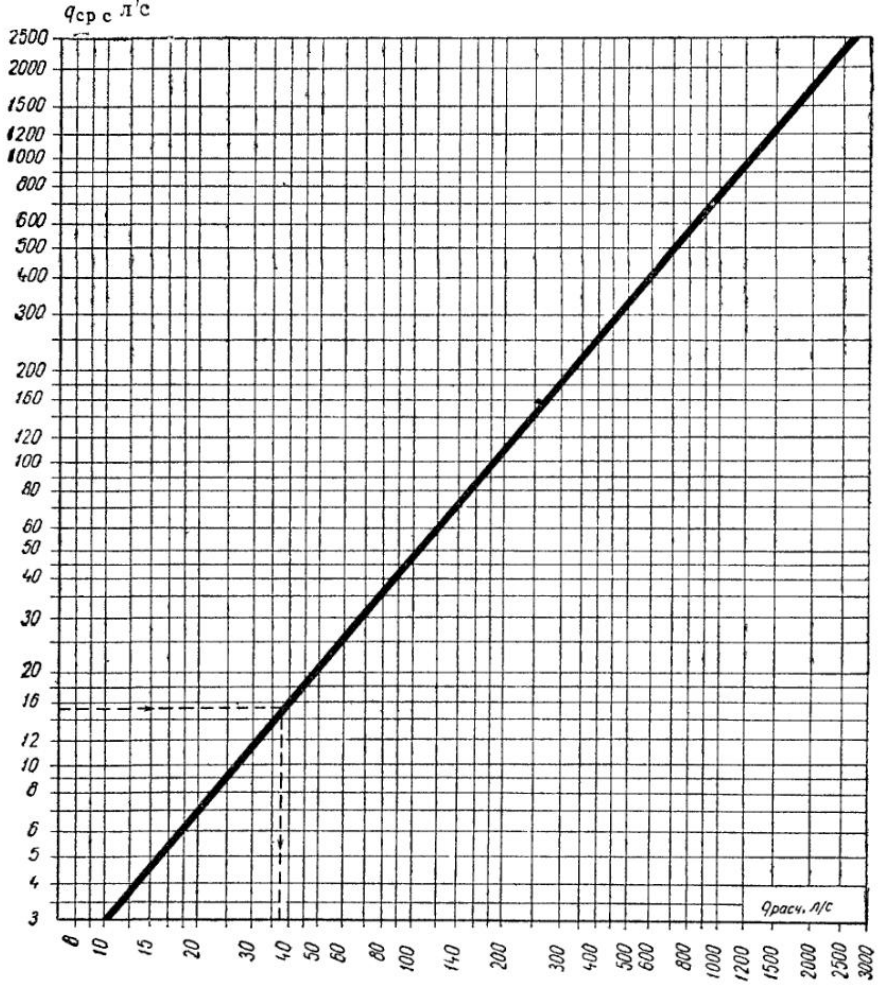


Рис 2 1. Максимальные (расчетные) расходы сточных вод

Максимальный расчетный расход $q_{макс.с}$ можно определить в зависимости от среднего секундного расхода $q_{ср.с}$ по рис. 2.1.

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:

$$Q_{сут} = \frac{25N_1 + 45N_2}{1000}; \tag{2.6}$$

$$Q_{макс\,ч} = \frac{25N_3 K_ч + 45N_4 K_ч}{T \cdot 1000}; \tag{2.7}$$

$$q_{макс.с} = \frac{25N_3 K_ч + 45N_4 K_ч}{T \cdot 3600}, \tag{2.8}$$

где N_1 и N_2 — число работающих в сутки при норме водоотведения соответственно 25 и 45 л на одного человека;

N_3 и N_4 — число работающих в смену с максимальным числом рабочих при норме водоотведения соответственно 25 и 45 л на одного человека;

$K_ч$ — коэффициент часовой неравномерности водоотведения;

T — число часов работы смены.

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

$$Q_{сут} = \frac{40N_5 + 60N_6}{1000}; \quad (2.9)$$

$$q_{макс.с} = \frac{40N_7 + 60N_8}{45 \cdot 60}, \quad (2.10)$$

где N_5 и N_6 — число пользующихся индивидуальным душем в душевых помещениях в сутки при норме водоотведения 40 и 60 л на одного человека;

N_7 и N_8 — число принимающих душ в смену с максимальным числом рабочих при норме водоотведения 40 и 60 л на одного человека.

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

$$Q_{сут} = mM, \quad (2.11)$$

$$q_{макс\ с} = \frac{mM_1 \cdot 1000}{T \cdot 3600} K_ч, \quad (2.12)$$

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.

§ 14. ГРАФИКИ КОЛЕБАНИЙ РАСХОДОВ (ПРИТОКА) СТОЧНЫХ ВОД

Для определения размеров сооружений канализации необходимо знать ожидаемый приток сточных вод. Обычно поступление воды от отдельных объектов колеблется в течение суток. Длительными наблюдениями установлено, что колебания притока бытовых вод в сеть в различных городах подчиняются определенной закономерности с незначительными отклонениями.

На так называемом ступенчатом графике притока сточных вод (рис. 2.2) по оси абсцисс отложено время суток в часах, а по оси ординат отложен реальный часовой приток сточных вод в процентах от суточного расхода, полученный на основании замеров по часам суток в городе с населением 20 тыс. чел. График составлен с учетом как суточных, так и часовых коэффициентов неравномерности водоотведения [1].

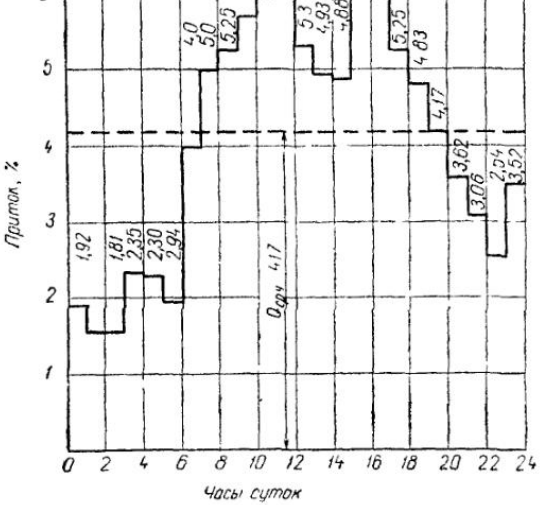


Рис. 2.2. Ступенчатый график притока сточных вод

[1] При реконструкции существующих сетей канализации 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

$$Q_ч = 100:24 \approx 4{,}17.$$

На рис. 2.2 максимальный часовой приток составляет 6,5% суточного расхода, что соответствует общему коэффициенту неравномерности водоотведения

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

При $K_{общ}=1{,}6$ режим поступления сточных вод по часам суток можно определить по табл. 2.3, 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.

Таблица 2.3

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

Часы суток	$q_{ср\,с}$, л						
	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
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

Поступление в канализацию бытовых 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, наблю-

дается в конце смены. В остальные часы расход может быть принят равномерным.

Режим поступления производственных вод принимают по данным, представляемым технологами.

§ 15. СУММАРНЫЕ РАСХОДЫ СТОЧНЫХ ВОД

Суммарные расходы сточных вод от населенных пунктов определяют по периодам развития канализации (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 (см. гл. IV).

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:

$$q_0 = \frac{np}{86\,400}, \qquad (2.13)$$

где n — норма водоотведения от одного человека, л/сутки;

p — плотность населения, чел/га.

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

Если степень благоустройства жилой застройки бассейна канализования разная, то норму водоотведения 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 $\Sigma Q_{соср}$. Сосредоточенный расход нужно исключить из среднесуточного расхода района, и тогда удельный расход q_0 может быть подсчитан по формуле

$$q_0 = \frac{n_0 p}{86\,400}, \qquad (2.13а)$$

или

$$q_0 = \frac{(Q - \Sigma Q_{соср})\,1000}{86\,400 F_р}, \qquad (2.13б)$$

где q_0 — остаточная норма водоотведения, л/сутки, на одного человека без сосредоточенных расходов на здания общественного назначения;

Q — среднесуточный расход сточных вод района канализования, м^3;

$F_р$ — площадь района канализования с одинаковой степенью благоустройства.

Остаточная норма водоотведения q_0 определяется из равенства

$$q_0 = q - q_{об}, \qquad (2.14)$$

где

$$q_{об} = \frac{\Sigma Q_{соср} \cdot 1000}{N_р}. \qquad (2.15)$$

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, поступающих в канализационные коллекторы и на насосные и очистные станции, с учетом коэффициентов неравномерности (см. табл. 2.2 и 2.3).

Раздел третий

КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ СЕТИ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ

Глава VI

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

§ 16. ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ТРУБ И КОЛЛЕКТОРОВ И ИХ ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Наружная канализационная сеть состоит из подземных трубопроводов и коллекторов различной формы сечения, предназначенных для приемки и отведения сточных вод (рис. 3.1).

Исходя из требований индустриализации строительства и широкого применения сборных железобетонных элементов в настоящее время закрытые коллекторы сооружают круглыми *I*, а для пропуска больших расходов сточных вод — прямоугольными *VIII*. До 90% протяженности всех существующих канализационных сетей выполняют из труб круглого сечения. Они нашли широкое применение как при напорном, так и при самотечном режиме течения. Эти трубы наиболее экономичны по затрате 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 *II* форму сечения лотка с вертикальными боковыми стенками, перекрытыми съемными плитами. Коллекторы банкетного *III* 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) *IV* 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 *V* коллекторы хорошо сопротивляются давлению грунта и временным нагрузкам, однако не индустриальны в строительстве и встречаются только в канализациях, построенных до 1930 г.

При устройстве дождевой канализации получили применение лотковые *VI* и пятиугольные *VII* коллекторы. В настоящее время строят круглые и прямоугольные коллекторы из сборных железобетонных элементов.

Открытые каналы трапецеидального *IX* 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:

$$R = \omega/\chi. \tag{3.1}$$

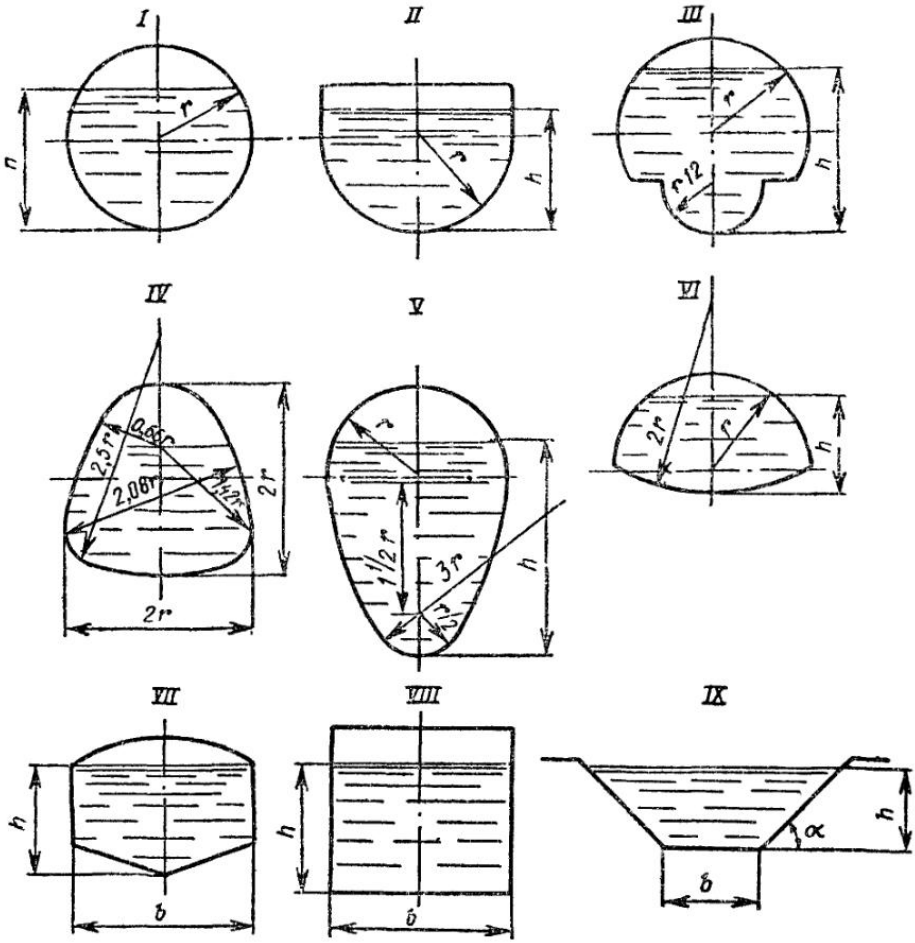


Рис 3.1. Поперечные сечения канализационных коллекторов и каналов

Гидравлический радиус при полном и половинном наполнениях круглой трубы

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4} = 0{,}25d \tag{3.2}$$

и достигает максимума 0,304 d при степени наполнения $h = 0{,}813\ d$.

При частичном наполнении:

$$R = R'd; \tag{3.3}$$

$$\omega = \omega' d^2, \tag{3.4}$$

где R' и ω' — 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 канализационной 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.

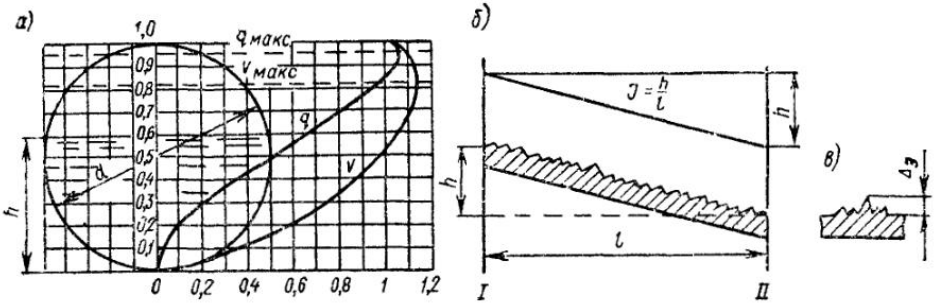


Рис. 3.2. Гидравлические элементы потока

а — зависимость скоростей и расходов от степени наполнения; *б* — гидравлический уклон потока на участке *I—II*; *в* — абсолютная шероховатость $\Delta_э$

На рис. 3.2 приведены кривые изменения скоростей и расходов в трубах круглого сечения в зависимости от степени наполнения. По оси ординат отложены степени наполнения h, а по оси абсцисс — соответствующие этим наполнениям скорости v и расходы q, выраженные в долях от скорости и расхода при полном наполнении.

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

§ 17. МИНИМАЛЬНЫЕ ДИАМЕТРЫ И СТЕПЕНЬ НАПОЛНЕНИЯ ТРУБ

В начальных участках внутриквартальной и уличной канализационных 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 2 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 канализации — внутриквартальной 150 мм, уличной 200 мм; б) для дождевой и общесплавной канализации — внутриквартальной 200 мм, уличной 250 мм; в) для напорных илопроводов — 150 мм.

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

Наполнением называется отношение высоты протекающего слоя воды h к внутреннему диаметру круглого коллектора d (см. рис. 3.2) 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 канализации.

Общесплавную и дождевую канализационную сеть рассчитывают на полное наполнение при максимальной интенсивности дождя.

Бытовую и производственную канализационные 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 (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Расчетное наполнение h/d в трубах круглого сечения

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

Наполнение коллекторов любой формы поперечного сечения высотой $H=900$ мм и более принимают равным $0{,}8H$.

При кратковременном пропуске по бытовой и производственной сетям диаметром до 500 мм душевых и банно-прачечных вод допускается полное наполнение.

Глубина потока в открытых каналах (канавах) 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.

§ 18. РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В НАРУЖНОЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

Сточная жидкость, транспортируемая по канализационным сетям, является полидисперсной системой с большим количеством плотных и жидких нерастворимых примесей.

Масса нерастворимых примесей, транспортируемых по бытовым канализационным сетям, составляет около 0,065 кг на одного жителя в сутки по сухому веществу. При сплаве по канализационной сети измельченных бытовых отбросов 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 пропускной способности, засорению, а иногда и к полной закупорке труб, а устранение засорения и закупорки связано со значительными трудностями. В нормально работающей канализационной сети нерастворимые примеси, содержащиеся в сточных водах, должны непрерывно транспортироваться потоком воды.

Чтобы избежать засорения канализационной сети осадками, необходимо знать: а) режим движения сточной жидкости; б) критические или, как их называют в практике расчета канализационных 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 канализационной 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 канализационной сети хорошо транспортируются органические нерастворимые вещества и плохо — нерастворимые минеральные примеси, главным образом песок, который при неблагоприятных гидравлических условиях выпадает в осадок.

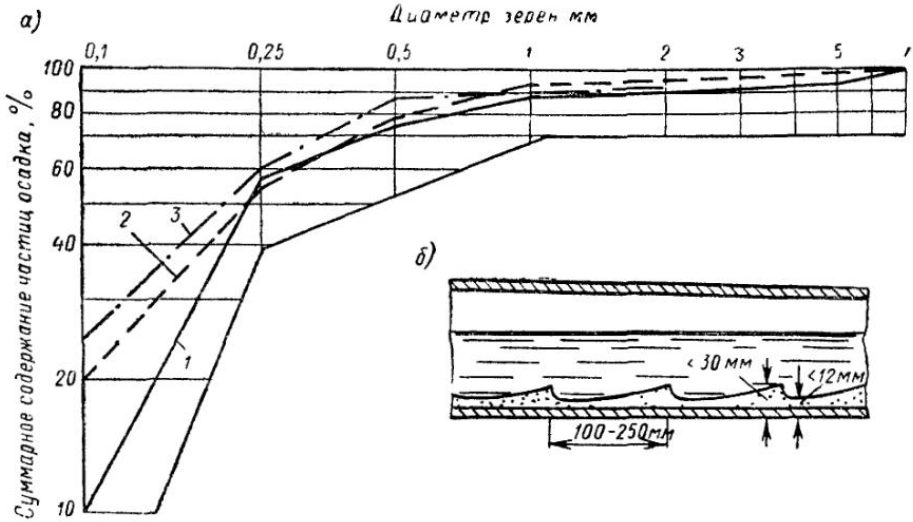


Рис. 3 3. Фракционный состав отложений (*а*) и схема непрерывного передвижения их в канализационной сети (*б*)

1 — бытовой, *2* — дождевой, *3* — общесплавной

В осадках, выпавших в канализационной 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 канализационных сетей составляет в среднем 1,6 т/м^3, а неуплотненного (с учетом пористости) — 1,4 т/м^3.

Фракционный состав осадка в разных системах канализации, по исследованиям проф. Н. Ф. Федорова, сильно не различается (рис. 3.3, *а*). На крупность фракций и состав осевшего в коллекторах осадка оказывает влияние скорость потока жидкости.

Опыт эксплуатации действующих канализационных 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 выпадения осадков; прочистка таких коллекторов не требуется; 2) наблюдается волнообразное передвижение песка; прочистка таких коллекторов также не требуется (рис. 3.3, *б*); 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) $h_{тр}$ при движении жидкостей по трубам и каналам могут быть выражены уравнением

$$h_{тр} = bv^m, \tag{3.5}$$

где b — коэффициент, учитывающий влияние размеров трубы, шероховатость ее стенок и вид жидкости;

m — показатель степени, учитывающий влияние скорости движения жидкости; при ламинарном движении $m=1$, при турбулентном $m=1{,}75\ldots2$.

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

$$\mathrm{Re} = vd/\nu = v \cdot 4R/\nu, \tag{3.6}$$

где v — средняя скорость движения жидкости;

d — диаметр труб;

ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Исследованиями движения чистой воды установлено, что при $\mathrm{Re}<2320$ режим движения будет ламинарным, а при $\mathrm{Re}>2320$ — турбулентным.

Движение жидкости в канализационной 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 $\Delta_э$ (см. рис. 3.2, *в*). 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.

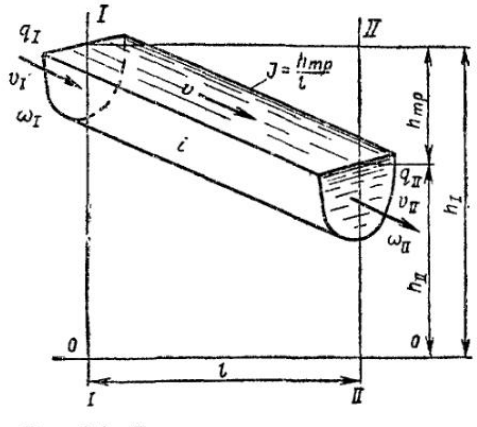


Рис. 3.4. Гидравлические элементы потока при равномерном движении

$\omega_I = \omega_{II} = \mathrm{const}$; $q_I = q_{II} = \mathrm{const}$; $v_I = v_{II} = \mathrm{const}$; $I = i = \mathrm{const}$

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 канализационной сети может быть равномерным и неравномерным.

Равномерным называется такое движение, при котором средняя скорость потока по длине русла не изменяется. Оно может быть только: 1) при постоянстве расхода ($q=\mathrm{const}$), площади живого сечения потока ($\omega=\mathrm{const}$), гидравлического уклона, равного уклону дна русла при безнапорном движении ($I=i=\mathrm{const}$), или давления ($p=\mathrm{const}$) в начальной точке при напорном потоке (рис. 3.4); 2) при однотипной шероховатости смоченной поверхности русла по его длине и в поперечном сечении; 3) при отсутствии местных сопротивлений.

Неравномерным движением называется такое, при котором в разных по площади живых сечениях русла средняя скорость потока неодинакова.

На рис. 3.5 показана неравномерность движения сточных вод в сети по замерам канд. техн. наук С. К. Колобанова. Фактические скорости движения воды в сети резко изменялись вследствие местных сопротивлений, создавались подпоры, что способствовало выпадению осадков. Неравномерность движения жидкости в сети осложняется тем, что поступление сточных вод не остается постоянным, а изменяется по часам

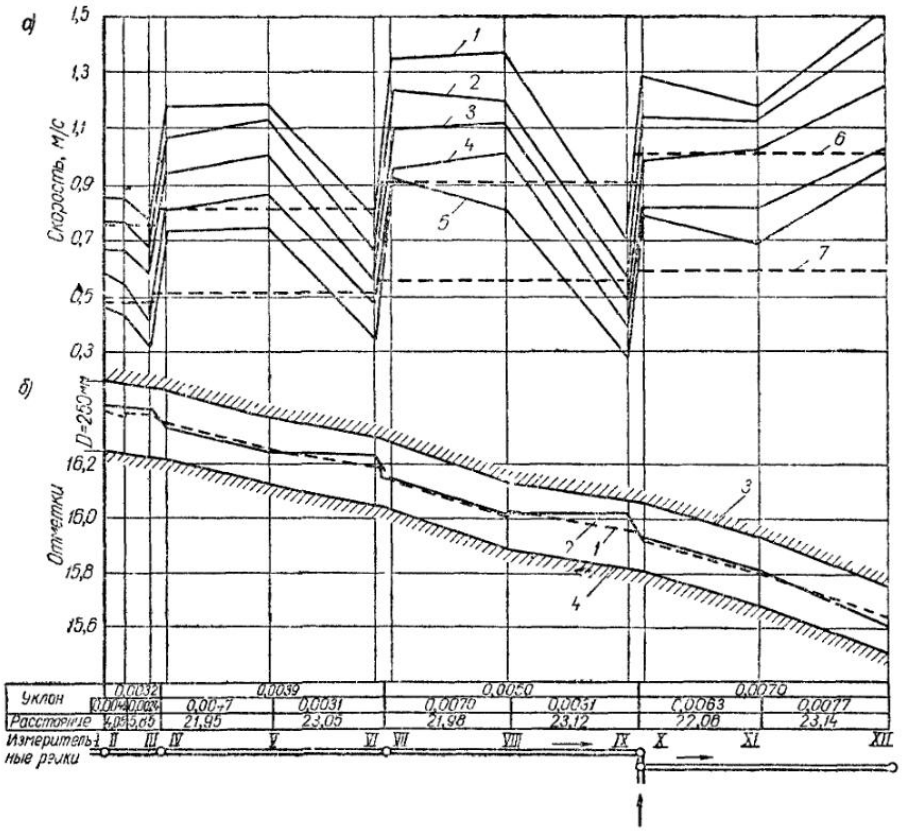


Рис. 3.5 Гидравлический режим течения жидкости в канализационной сети

а — график средних скоростей при разных расходах: *1* — q=34 л/с; *2* — q=25,4 л/с; *3* — q=17,7 л/с; *4* — q=11 л/с; *5* — q=5,5 л/с; *6* — расчетная скорость по формуле (3.14) при q=34 л/с; *7* — то же, при q=5,5 л/с, *б* — продольный профиль канализационной трубы; *1* — уровень воды, определенный по формуле равномерного движения при q=25,4 л/с; *2* — уровень свободной поверхности при q=25,4 л/с; *3* — верх трубы; *4* — лоток трубы

суток и увеличивается от боковых присоединений сети. Все это позволяет считать, что движение жидкости в канализационной 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 канализационной сети по формулам неравномерного движения, из-за неоднородности состава и неравномерности режима поступления сточных вод в сеть, гидравлический ее расчет производят по универсальным формулам равномерного движения в шероховатой, гладкой и переходной областях турбулентного режима.

§ 19. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

Гидравлический расчет канализационных 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 (см. § 27), а режим движения жидкости в расчетных участках сети равномерный.

В основу гидравлического расчета приняты:

1) формула постоянства расхода

$$q = \omega v; \tag{3.7}$$

2) формула Шези для определения скорости течения

$$v = C\sqrt{RI}, \tag{3.8}$$

где q — максимальный расчетный расход сточных вод, м³/с;
ω — площадь живого сечения потока, м²,
v — средняя скорость движения потока, м/с;
R — гидравлический радиус, м;
C — коэффициент сопротивления трения по длине;
I — гидравлический уклон потока:

$$I = \frac{v^2}{C^2 R}. \tag{3.9}$$

В СНиП II-32-74 рекомендуется вместо формулы (3.9) пользоваться идентичной формулой Дарси:

$$I = \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g}, \tag{3.10}$$

где λ — коэффициент сопротивления трению по длине;
g — ускорение свободного падения, м/с².

Между значениями коэффициентов сопротивления C и λ существуют следующие зависимости:

$$C = \sqrt{8g/\lambda} \quad \text{и} \quad \lambda = 8g/C^2. \tag{3.11}$$

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

$$C = \frac{1}{n} R^y, \tag{3.12}$$

где n — коэффициент шероховатости, принимаемый равным 0,012—0,015 в зависимости от материала труб (см. табл. 3.2);
y — показатель степени, зависящий от значения коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса:

$$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\left(\sqrt{n} - 0{,}1\right). \tag{3.13}$$

В канализационных коллекторах диаметром до 4000 мм гидравлический радиус всегда меньше 1 м, а при $R < 1$ и $n = 0{,}013$ показатель степени

$$y \approx 1{,}5\sqrt{n} = 1/6.$$

При постоянном показателе $y=1/6$ формула (3.12) получила широкое распространение в ряде стран под названием формулы Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \tag{3.12а}$$

или приближенно

$$C = \frac{1}{n} R^{0,17}. \tag{3.12б}$$

Таблица 3.2

Значения коэффициентов шероховатости

Коллектор	Коэффициент		
	шероховатости n	эквивалентной шероховатости $\Delta_э$, 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

Подставляя в формулу (3.8) значение коэффициента C, найденное по формуле Н. Н. Павловского, при $y=0,17$ получим:

$$v = \frac{1}{n} R^{0,67} I^{0,5}. \tag{3.14}$$

Подставляя значение C в формулу расхода (3.7), будем иметь

$$q = \frac{1}{n} \omega R^{0,67} I^{0,5}. \tag{3.15}$$

Степенная формула Н. Н. Павловского позволяет легко переходить при расчетах от одного коэффициента шероховатости к другому путем введения добавочного множителя. В зарубежной практике наряду с формулой Маннинга широко применяют степенную формулу Хазен — Вильямса:

$$v = aR^{0,63} I^{0,54}, \tag{3.16}$$

где a — величина, принимаемая равной 100—150.

В соответствии со СНиП 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

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_э}{3,42\, d} + \frac{a_2}{\mathrm{Re}} \right); \tag{3.17}$$

б) для безнапорного течения

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\lg\left(\frac{\Delta_э}{13{,}68R} + \frac{a_2}{\mathrm{Re}}\right), \qquad (3.18)$$

где $\Delta_э$ — коэффициент эквивалентной абсолютной шероховатости, см (см. табл. 3.2);

a_2 — безразмерный коэффициент, учитывающий характер шероховатости материала труб (см. табл. 3.2);

R — гидравлический радиус, см;

Re — число Рейнольдса.

$\Delta_э$ и R при расчетах принимаются в одинаковых единицах (в см).

Проф. Н. Ф. Федоровым установлена зависимость между коэффициентами шероховатости n и эквивалентной шероховатости $\Delta_э$ (см. табл. 3.2), которая выражается формулой

$$n = 0{,}0392\sqrt[6]{\Delta_э}. \qquad (3.19)$$

При гидравлическом расчете канализационных сетей пользуются графиками, номограммами и таблицами (см. § 21), 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 этих формул.

§ 20. РАСЧЕТНЫЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД И МИНИМАЛЬНЫЕ УКЛОНЫ

Для обеспечения нормальных условий работы канализационным сетям придают надлежащие уклоны, обеспечивающие течение жидкости с самоочищающими скоростями. Скорость течения является функцией уклона и гидравлического радиуса [см. формулу (3.8)]. С увеличением уклона или гидравлического радиуса скорость течения жидкости возрастает.

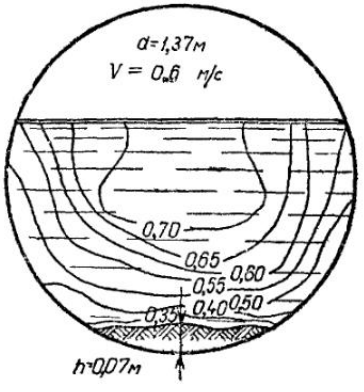


Рис. 3 6. Распределение скоростей течения сточной воды в круглом коллекторе

Среднюю скорость течения в рассматриваемом потоке определяют по формуле

$$v = q/\omega. \qquad (3.20)$$

В действительности скорости течения в разных точках поперечного сечения потока несколько отличаются от средней скорости потока (рис. 3.6): 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 канализационной сети на донные скорости не представляется возможным, так как их определение связано с большими трудностями, поэтому расчет канализационной 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 табл. 3.3.

Таблица 3.3

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 строительным нормам и правилам отдельных отраслей промышленности или по эксплуатационным данным.

Чтобы обеспечить достаточные данные скорости, с увеличением диаметра труб увеличивают среднюю самоочищающую скорость потока, которую можно принимать по наиболее плавным (рис. 3.7, кривая *1*), а не скачкообразным (кривая *2*) переходам от одного диаметра к другому.

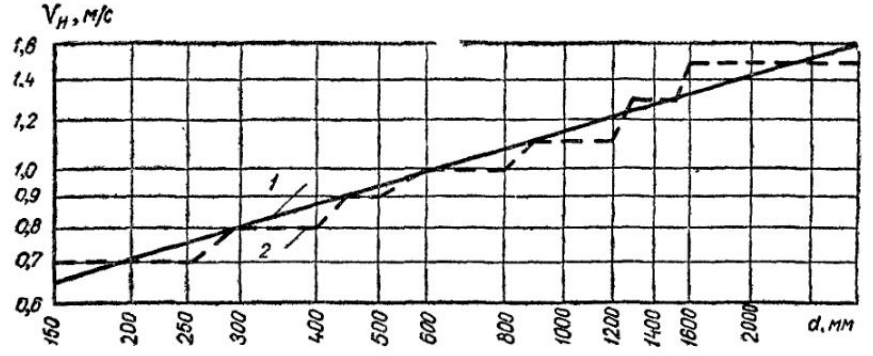


Рис. 3.7. Минимальные скорости течения сточной воды при расчетном наполнении
1 — по формуле проф. Н. Ф. Федорова; *2* — по СНиП

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

$$v_н = 1{,}57\sqrt[n]{R}\,. \qquad (3.21)$$

где $v_н$ — минимальная незаиливающая скорость, м/с;

$n = 3{,}5 + 0{,}5R$.

Самоочищающие скорости можно обеспечить назначением уклонов, которые принимают по СНиП, не менее: для труб диаметром 150 мм — 0,008; диаметром 200 мм — 0,005.

Уклоны можно определить также по формулам (3.9) и (3.10), если в эти формулы подставить значение самоочищающей скорости $v_п$. Однако этот метод расчета очень сложен.

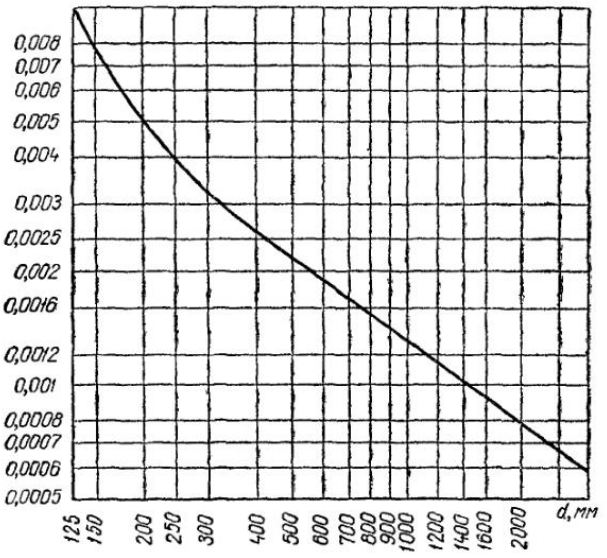


Рис. 3.8. Минимальные уклоны

На практике для приближенных расчетов минимальные уклоны можно определять по рис. 3.8 или по более простой эмпирической формуле

$$i_{мин} = 1/d, \qquad (3.22)$$

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 канализационной сети диаметрами 150 и 200 мм часто получаются наполнения меньше допустимых вследствие незначительных расходов. Такие участки трубопроводов называют «безрасчетными», скорость движения жидкости в них не определяют, а уклоны принимают не ниже минимальных.

§ 21. ПРИЕМЫ РАСЧЕТА БЕЗНАПОРНЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

При расчете канализационной 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 $i_{мин}$, 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 канализационных сетей пользуются таблицами, графиками и номограммами. Подробные таблицы составлены Н. Ф. Федоровым по его фор-

муле (3.18), А. А. Лукиных 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 (рис. 3.9). 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.

Номограммы составлены в тресте Мосочиствод А. А. Кузнецовым и С. К. Колобановым для расчета труб круглого и полуэллиптического сечения по формуле Н. Н. Павловского при $n=0{,}0137$.

По номограмме можно производить гидравлический расчет напорной и безнапорной канализационных сетей. Соединяя на двух любых шкалах (например, шкалах q_0 и i) точки с известными значениями прямой линией, находят два соответствующих им значения на других шкалах (шкале диаметров d и скоростей v_0) при полном наполнении.

Для расчета труб при частичном наполнении имеются два вспомогательных криволинейных графика — один для вычисления скорости, а другой для вычисления расходов при наполнении от 0 до 1 d с интервалами через 0,05 d. Графики составлены аналогично графику зависимости скоростей и расходов от степени наполнения (см. рис. 3.2).

Способ пользования основными и вспомогательными графиками весьма прост.

Соединяя прямой линией точку на шкале диаметров $d=300$ мм с точкой на шкале уклонов $i=0{,}0033$ (см. рис. 3.9), в точке пересечения со шкалой расходов получаем $q_0=52$ л/с, а в точке пересечения со шкалой скоростей $v_0=0{,}74$ м/с, соответствующие полному наполнению трубы. При наполнении 0,6 d на вспомогательной кривой расходов I берем измерителем отрезок a', соответствующий наполнению 0,6 d со знаком минус (—), и откладываем его на шкале расходов влево от прямой, так как расход при наполнении 0,6 d меньше, чем при 1 d, тогда получим действительный расход $q=36{,}5$ л/с. Аналогично определяем скорость на вспомогательной кривой скоростей II. Для этого откладываем отрезок $б'$, соответствующий наполнению 0,6 d со знаком плюс (+), и переносим его на шкалу скоростей вправо от точки $v_0=0{,}74$ м/с, так как скорости при наполнении более 0,5 d выше, чем при полном наполнении, в результате получаем $v=0{,}82$ м/с.

Рассмотрим еще один пример. Допустим расход равен 30 л/с, уклон местности — 0,0048. Задаемся наполнением 0,5 d.

На шкале расходов q_0 к точке, соответствующей расходу 30 л/с, прибавляем отрезок a'', соответствующий (по вспомогательному графику I) наполнению 0,5 d, и получаем новую точку с расходом $q_0=56$ л/с. Соединяя ее прямой линией с уклоном $i=0{,}0048$ на шкале уклонов, получим $d=280$ мм. Поскольку по сортаменту таких труб нет, берем ближайший $d=300$ мм. Соединяя прямой диаметр 300 мм с расходом 56 л/с (на номограмме не показано), получим $i=0{,}004$ и скорость $v_0=0{,}8$ м/с. Поправка на скорость не требуется, так как скорости при половинном и полном наполнении совпадают (см. рис. 3.2).

Номограммы для гидравлического расчета круглых труб по форму-

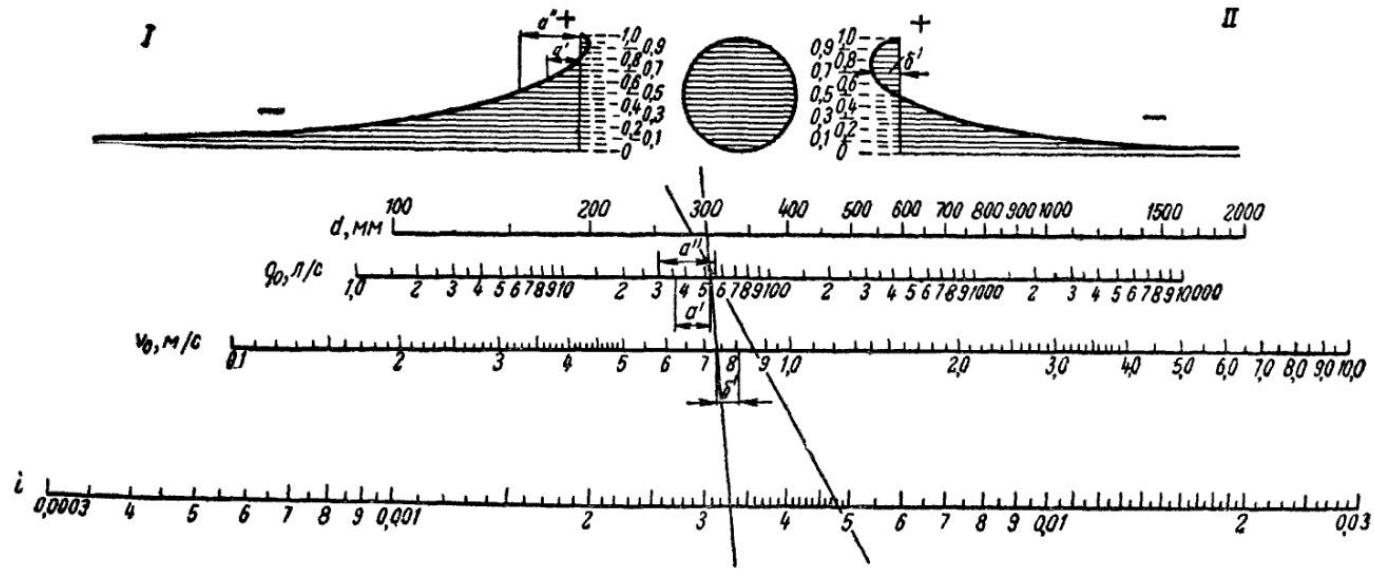


Рис. 3.9. Номограмма в параллельных координатах для расчета коллекторов круглого сечения по формуле Н. Н. Павловского при $n=0{,}0137$

I — график для вычисления расходов при частичном наполнении труб; *II* — то же, скоростей при частичном наполнении труб

ле акад. Н. Н. Павловского с различными коэффициентами шероховатости (n=0,011...0,017) и по формуле проф. Н. Ф. Федорова составлены Г. С. Хованским и Н. Ульмасовым[1].

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.

В настоящее время внедряется механизация расчета бытовой канализационной сети с помощью ЭЦВМ. Разработана методика определения расчетных расходов, гидравлического расчета канализационных сетей — определение оптимальных диаметров труб, незаиливающих скоростей течения и минимальных уклонов. Составлены алгоритмы счета и рекомендации по составлению программы расчета[2].

§ 22. РАСЧЕТ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ В КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

При движении жидкости в самотечной канализационной 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 (см. рис. 3.5), 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 $h_м$ в самотечных и напорных трубопроводах можно определить по величине скоростного напора перед местным сопротивлением $\frac{v_1^2}{2g}$ или после него $\frac{v_2^2}{2g}$:

$$h_м = \zeta \frac{v_1^2}{2g} = \zeta \frac{v_2^2}{2g}, \qquad (3.23)$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления;

v — средняя скорость потока, м/с;

g — ускорение свободного падения, м/с^2.

Установлено, что коэффициент местных сопротивлений зависит от числа Рейнольдса:

$$\zeta = f(\mathrm{Re}).$$

Коэффициенты местных сопротивлений в напорных трубопроводах принимают по табл. 3.4, а в поворотных и соединительных колодцах самотечной сети вычисляют по формулам, приведенным в работе Н. Ф. Федорова[3].

---

[1] Хованский Г. С. Гидравлический расчет круглых труб по транспарантным номограммам. М., изд. МКХ РСФСР, 1962.

[2] Койда Н. У., Федоров Н. Ф. Технико-экономический расчет канализационной сети с помощью ЭЦВМ. Л., Стройиздат, 1971.

[3] Федоров Н. Ф. Новые исследования и гидравлические расчеты канализационных сетей. Изд. 2-е. Л.—М., Стройиздат, 1964.

Таблица 3.4

Значения коэффициента местного сопротивления

Местные сопротивления	ζ
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
» на $^3/_4$	0,26
» 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

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 [1].

§ 23. 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 (3.7) по расчетному расходу q, задаваясь экономичными скоростями течения v, рекомендуемыми в курсе «Водоснабжение» и связанными соотношениями:

$$q = v\omega = v\frac{\pi d^2}{4}; \tag{3.24}$$

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi v}}; \tag{3.25}$$

$$v = \frac{q}{\omega} = \frac{4q}{\pi d^2}. \tag{3.26}$$

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

$$H = h_{тр} + \Sigma h_м. \tag{3.27}$$

[1] Федоров Н. Ф., Сахаров И. В Расчет местных сопротивлений при проектировании канализационных сетей. Л.—М., Госстройиздат, 1958.

Потери напора на трение по длине составляют

$$h_{тр} = IL = L\frac{\lambda}{4R}\cdot\frac{v^2}{2g} = L\frac{\lambda}{d}\cdot\frac{v^2}{2g}, \qquad (3.28)$$

где L — длина трубопровода, м;

I — единичная потеря напора или гидравлический уклон, определяемый по формуле (3.10);

λ — коэффициент сопротивления трению, определяемый по формуле (3.17).

При движении сточных вод в условиях шероховатой зоны турбулентного режима потери напора по длине рекомендуется определять по формуле

$$h_{тр} = L\frac{v^2}{C^2R}. \qquad (3.29)$$

Обычно для подсчета потерь напора по длине пользуются теми же формулами, таблицами и номограммами, что и для расчета канализационной сети с учетом полного наполнения труб (см. § 19 и 21).

Для приближенных расчетов местные сопротивления $\Sigma h_м$ длинных трубопроводов принимают равными 10—15% потерь на трение $h_{тр}$. Тогда полные потери напора по формуле (3.27) принимают:

$$H = 1{,}1\,IL, \text{ или } H = 1{,}15\,IL. \qquad (3.30)$$

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 (3.23), а значения коэффициентов местных сопротивлений ζ выбирать по табл. 3.4.

Полные потери напора в дюкере складываются из суммы потерь на входе в трубу (решетка, уменьшение сечения и др.), сопротивлении по длине, на поворотах и на выходе из дюкера (см. § 37).

Глава VII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОЙ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

§ 24. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТРАССИРОВКИ И РЕКОНСТРУКЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

В практике проектирования решают две задачи: проектирование вновь или реконструкцию и расширение существующих систем канализации. 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 канализации является проект районной планировки или проект планировки и застройки населенного пункта (города), а для проектирования канализации промышленного предприятия — генеральный план предприятия, утвержденные в установленных законом инстанциях.

Границы канализуемой территории на промышленных предприятиях обычно определяют в пределах размещаемых цехов и бытовых помеще-

ний, а в городах и поселках — в пределах размещения застройки или в пределах, предусмотренных в задании на проектирование.

Проектирование канализационной сети начинают с разбивки территории города на бассейны канализования по водоразделам, а затем выбирают и согласовывают с органами Государственной санитарно-эпидемиологической службы и рыбного и водного надзора площадку для размещения очистной станции и место выпуска очищенных сточных вод в водный проток (см. § 117 и 118).

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 канализационной сети по возможности принимают минимальное ее заглубление и самотечный режим движения бытовых и производственных сточных вод. Намечают трассу главного коллектора и трассы коллекторов бассейнов канализования, выявляют районы, для которых требуется перекачка сточных вод, выбирают площадки для размещения насосных станций (см. рис. 1.3) и намечают принципиальную схему канализации города по бассейнам канализования (см. § 4).

Границы отдельных бассейнов канализования 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 канализования 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 (см. гл. XII).

Трассировкой называют начертание канализационной сети в плане. Это один из ответственных этапов при составлении схемы канализации. От принятых принципов трассировки зависит стоимость канализации. На выбор трассы сети влияют рельеф местности и вертикальная планировка; принятая система канализации и число канализационных 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 канализационной сети производят следующим образом: сначала трассируют главный и отводной коллекторы, подающие воду на очистные станции; затем — коллекторы бассейнов канализования; в последнюю очередь — уличную сеть (см. рис. 1.3). При трассировке коллекторов и сети исходят из условий самотечного канализования 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 канализования и всех боковых присоединений без из-

лишнего заглубления главного коллектора. При плоском рельефе местности коллекторы трассируют по возможности по середине бассейна. Коллекторы больших диаметров целесообразно трассировать по проездам со слаборазвитой 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 канализационных 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 плывунов. Наиболее трудно трассировать канализационную сеть при плоском рельефе местности, когда даже при незначительном протяжении канализационных 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 (см. рис. 3.15, *А*) и внутриквартальной (см. рис. 1.2) схемам. При объемлющей схеме канализационную 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 канализационную сеть прокладывают через кварталы — от вышерасположенных к нижерасположенным. При этой схеме по сравнению с объемлющей получается более экономичное сочетание дворовой канализационной сети с уличной, сокращается на 30—40% длина уличной сети и снижается на 10—20% стоимость строительства.

Прогрессивным способом является прокладка внутренних канализационных 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 канализации из каждой секции здания.

При трассировке канализационных 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 канализационных сетей влияет принятая система канализации.

При полной раздельной системе канализации предусматривают прокладку по проездам двух сетей — дождевой и бытовой; при неполной раздельной системе оставляют трассу для последующей прокладки коллекторов дождевой канализации.

Дождевую канализацию трассируют так, чтобы расстояние до места выпуска сточных вод в ближайший водоем или в тальвег было наименьшим (см. рис. 1.4, *а*).

При общесплавной канализации 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 пересечь 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 канализации, на которой помимо основных коллекторов и сети наносят места расположения насосных станций, очистных сооружений и выпусков.

В последнее время намечены пути по оптимизации трассировки и начертания сети в плане с помощью ЭЦВМ, а также механизации расчетов, связанных с перекачкой сточной жидкости насосами, и выбора мест размещения станций перекачки; предложены методы технико-экономического расчета канализационной сети с помощью ЭЦВМ (см. § 21).

Значительную сложность представляют реконструкция и расширение уже сложившихся канализационных систем крупных городов с населением свыше 500 тыс. человек. Канализации крупных городов исторически развивались по полной раздельной системе, а канализационная 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 канализации крупных городов постепенно без больших единовременных капитальных затрат. Однако дальнейшая реконструкция существующих систем канализации 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 канализации 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 канализации городов Чикаго, Мехико и др. В СССР применены коллекторы глубокого заложения при реконструкции сложившихся полных раздельных систем канализации Киева, Харькова, Ленинграда, Москвы и общесплавной системы Львова.

В Киеве путем переброски сточных вод новых жилых районов через центр города магистральным каналом диаметром 3000 мм и длиной 7 км, проложенным способом щитовой проходки на глубине от 18 до 80 м в спондиловых глинах, решена канализация новых и разгрузка существующих районов без перестройки подземных коммуникаций. На всем протяжении канала имеются только три камеры.

Строительство каналов глубокого заложения проходческими щитами диаметром 2,6 и 4 м на глубине 36—70 м ведется во Львове.

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. м^3/сутки, находящейся на глубине 38,8 м. Это позволило без перестройки канализационной сети ликвидировать 16 насосных станций. Кольцеванием коллекторов повышена надежность всей системы и облегчен осмотр и ремонт коллекторов. Годовой экономический эффект этой системы по сравнению с каналами мелкого заложения составил 293 тыс. руб.

В Ленинграде начато строительство коллекторов в плотных грунтах на глубине 38 м, а строительство насосной станции на глубине 80 м будет осуществлено в виде подземного туннеля, сооружаемого станционным щитом метро.

В качестве примера оригинального решения рассмотрим реконструкцию канализации Москвы (рис. 3.10). Московская канализация имеет 4560 км коллекторов и уличных сетей и 240 км напорных трубопроводов, отводящих 4 млн. м^3/сутки сточных вод; 73 насосные станции общей мощностью 6,2 млн. м^3/сутки и 6 станций аэрации общей мощностью 4,13 млн. м^3/сутки. Расход загрязненных сточных вод к 1990—1995 гг. достигнет 11 млн., а на перспективу 13 млн. м^3/сутки, в том числе 2,5 млн. м^3/сутки составят поверхностные стоки от дождей частой повторяемости, промышленных условно чистых вод, а также от поливки улиц, которые в настоящее время сбрасываются в дождевую канализацию и р. Москву в пределах города. Дальнейшее увеличение мощности московской канализации, повторяющей традиционное ее самотечно-напорное построение, крайне нерационально из-за отсутствия свободного подземного пространства, недостаточной надежности такой схемы, большого числа канализационных насосных станций и относительной недолговечности стальных напорных трубопроводов.

Реконструкция канализации Москвы будет развиваться в первую очередь по раздельной системе (с устройством насосных станций) с постепенным переходом к комбинированной системе (раздельной и полураздельной). Преобладающей будет полураздельная система, по которой загрязненные поверхностные стоки транспортируются и очищаются совместно с бытовыми и производственными водами, а малозагрязненные при дождях менее 20-кратной повторяемости перепускаются в реку. Такая полураздельная система наиболее рациональна и эффективна в отношении охраны водоемов от загрязнения. Предусматривается прокладка самотечных магистральных каналов-туннелей глубокого заложе-

ния, трассируемых через центры наибольшего скопления сточных вод, что ограничит дальнейшее строительство насосных станций и напорных трубопроводов в пределах города.

Каналы глубокого заложения общим протяжением 120 км выполняются в три очереди в виде трех ветвей: восточной, западной и юго-западной. Каналы прокладывают с помощью проходческих щитов, при-

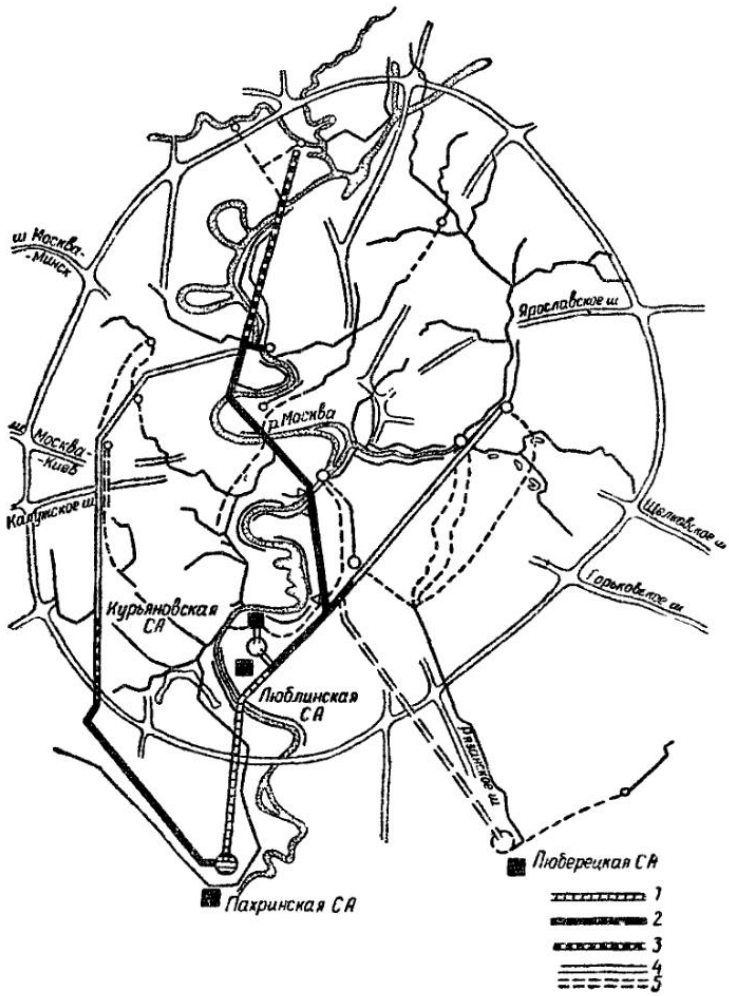


Рис. 3.10 Схема реконструкции канализации г. Москвы

1 — до 1985 г.; *2* — до 1987 г.; *3* — до 1990 г.; *4* — до 2000 г.; *5* — после 2000 г.

меняемых при строительстве метро, в устойчивых грунтах на глубине 80 м вблизи крупных насосных станций. После пуска в эксплуатацию каналов глубокого заложения большинство насосных станций будет ликвидировано.

Из шести останутся три станции аэрации: Люберецкая, Курьяновская и Пахринская пропускной способностью соответственно 2,5; 3 и 8 млн. м^3/сутки. Намечается интенсивная реконструкция канализации: замена ветхих канализационных коммуникаций и частичный прием поверхностного стока в городскую канализацию, кольцевание канализационных каналов для передачи сточных вод из одной системы в другую через определенные эксплуатационные узлы.

§ 25. РАСПОЛОЖЕНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В ПОПЕРЕЧНОМ ПРОФИЛЕ ПРОЕЗДОВ

Размещение канализационных 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. Пример рационального двустороннего размещения подземных коммуникаций на пересечении проездов приведен на рис. 3.11.

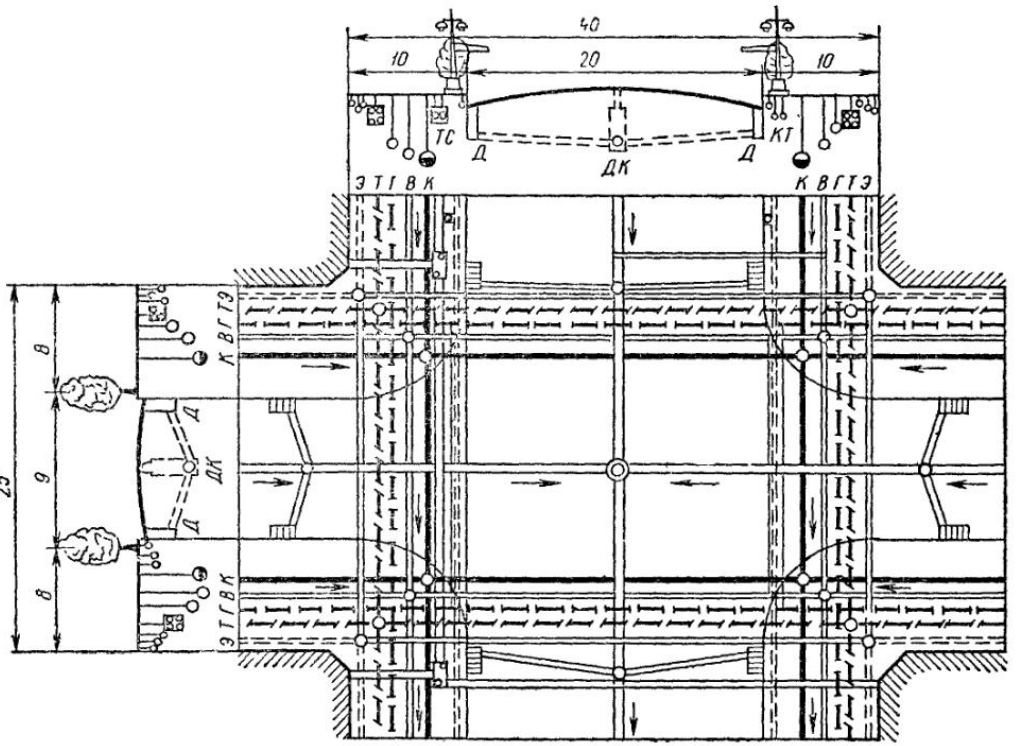


Рис. 3.11. Рациональное размещение подземных сетей

Э — электросеть; *Т* — телефон, *Г* — газопровод; *В* — водопровод; *К* — канализация; *Д* — дождеприемники, *ДК* — дождевая канализация (водостоки); *ТС* — тепловая сеть

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 (рис. 3.12). Этот способ может снизить стоимость строительства сетей примерно на 3—7% против стоимости раздельных прокладок тех же сетей, так как расстояние между трубопроводами уменьшается.

Канализационные 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 канализации. На проездах шириной 30 м и более сети трассируют по обеим сторонам улицы, если это оправдывается экономическими расчетами.

Расположение канализационных сетей по отношению к зданиям и подземным сооружениям должно обеспечить возможность производства работ по укладке и ремонту сетей и защиту смежных трубопроводов при авариях, а также не допускать подмыва фундаментов зданий и подзем-

ных сооружений при повреждениях канализационных трубопроводов и исключить возможность попадания сточных вод в водопроводные сети.

Расстояние в плане от напорных канализационных 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

$$L = \frac{h}{\operatorname{tg}\alpha} + \frac{b}{2} + 0{,}5, \qquad (3.31)$$

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

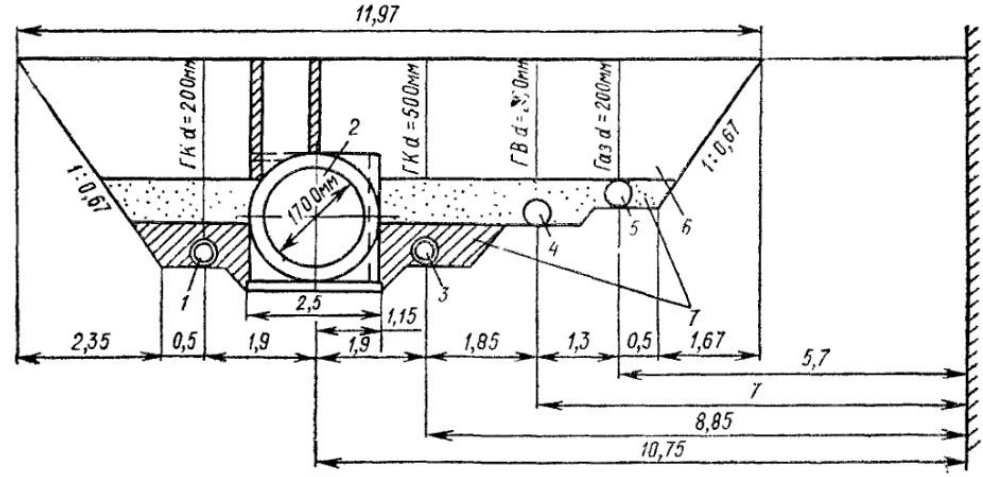


Рис. 3.12. Совместная прокладка подземных трубопроводов

1 и *3* — бытовая канализация; *2* — дождевая канализация; *4* — водопровод; *5* — газопровод; *6* — местный грунт; *7* — местный грунт и привозной горный песок

Минимальное расстояние от канализационных 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 — 5 м, напряжением 35 кВ — 10 м; до деревьев ценных пород — 2 м.

Расстояние в свету между наружными стенками трубопроводов и колодцев или камер должно быть не менее 0,15 м.

При прокладке канализационных 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 канализационных труб на одном уровне с водопроводными расстояние между стенками трубопроводов должно быть не менее 1,5 м при водопроводных трубах диаметром до 200 мм и не менее 3 м при трубах большего диаметра. Если канализационные 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 канализационных 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 по-

дошвы насыпи), до бордюрного камня автомобильных дорог—не менее 1,5 или 1 м до бровки кювета либо подошвы насыпи.

Канализационные 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 канализационных 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 (рис. 3.13).

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

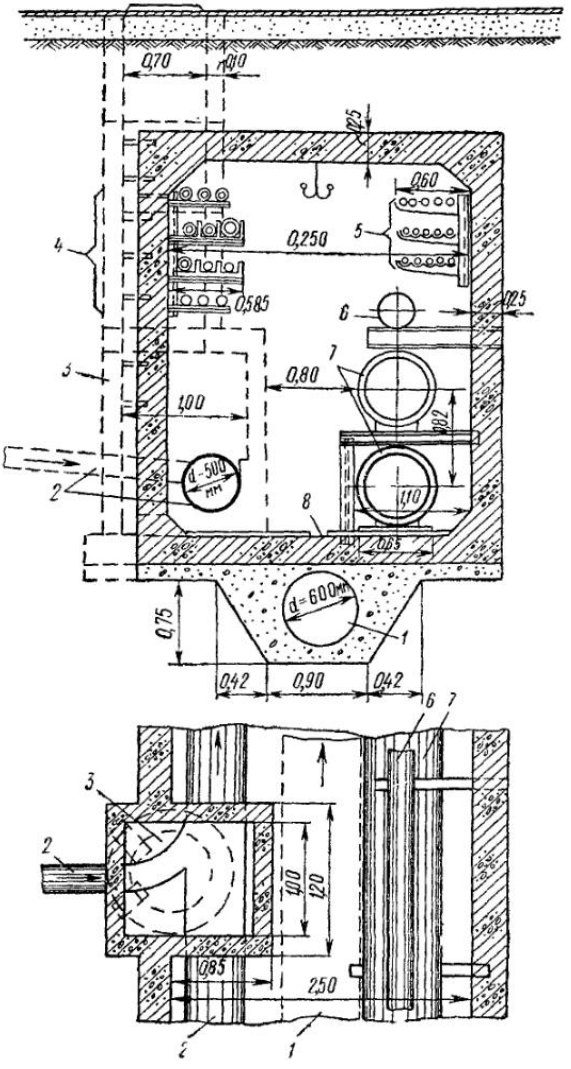


Рис. 3.13 Коллекторный туннель для инженерных коммуникаций

1 — водосток; *2* — канализация; *3* — смотровой колодец; *4* — электрокабели; *5* — телефонные кабели; *6*— водопровод; *7* — тепловая сеть; *8* — лоток

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 (см. § 32).

Главмосинжстрой применяет в Москве проходные внутриквартальные коллекторы из замкнутых объемных железобетонных секций длиной 3,2 м для подземных коммуникаций с внутренней оснасткой и отделкой, изготовляемых методом проката. Секции соединяют и в них монтируют кабели и трубопроводы.

§ 26. ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

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

Опасность замерзания воды в канализационной сети значительно меньше, чем в водопроводной. По канализационной сети постоянно протекают сточные воды с температурой не ниже 10—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 канализаций 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 бóльших диаметров—на 0,5 м менее наибольшей глубины промерзания в данном районе, но не менее 0,7 м до верха трубы, считая от отметки планировки.

Наименьшую глубину заложения лотка H для труб различных диаметров d можно определить по формуле

$$H = h_{\text{пром}} - (0{,}3 \cdots 0{,}5) > (0{,}7 + d), \qquad (3.32)$$

где $h_{\text{пром}}$ — нормативная глубина промерзания грунта, которая принимается по схематической карте, рекомендуемой СНиП 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 (рис. 3.14) по формуле

$$H = h + i(L + l) + Z_1 - Z_2 + \Delta, \qquad (3.33)$$

где h — наименьшая глубина заложения сети в наиболее удаленном или невыгодно расположенном колодце, м;

i — уклон дворовой или внутриквартальной линии;

$L+l$ — длина дворовой или внутриквартальной канализационной 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 автотранспортом минимальную глубину заложения уличной сети следует принимать не менее 1,5 м до верха трубы.

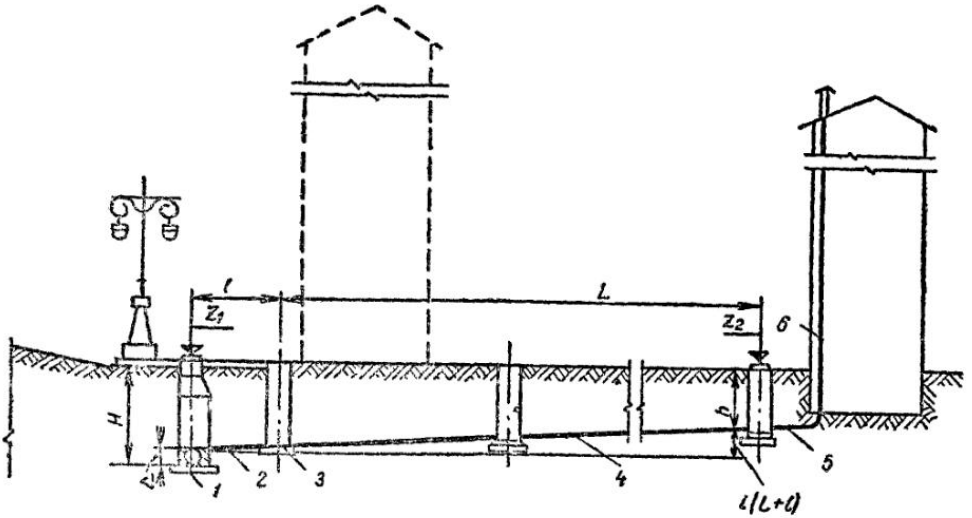


Рис. 3.14. Определение начальной глубины заложения уличной сети

1 — колодец уличной сети; *2* — соединительная ветка; *3* — контрольный колодец; *4* — дворовая сеть; *5* — выпуск; *6* — стояк

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

§ 27. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТНЫХ УЧАСТКОВ СЕТИ

Канализационная 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 канализуемой территории, тяготеющей к расчетному участку сети. Попутные расходы сточных вод от отдельных участков уличной канализационной сети определяют в зависимости от ее начертания.

При объемлющей схеме в канализационную сеть поступают сточные воды с площади квартала, прилегающей к этой линии. Площади намеча-

ют путем деления кварталов биссектрисами, проводимыми из каждого угла, и линиями, соединяющими точки пересечения биссектрис (рис. 3.15, А).

При начертании сети по пониженной стороне кварталов (рис. 3.15, *Б*) или по внутриквартальной схеме сточная жидкость поступает со всей

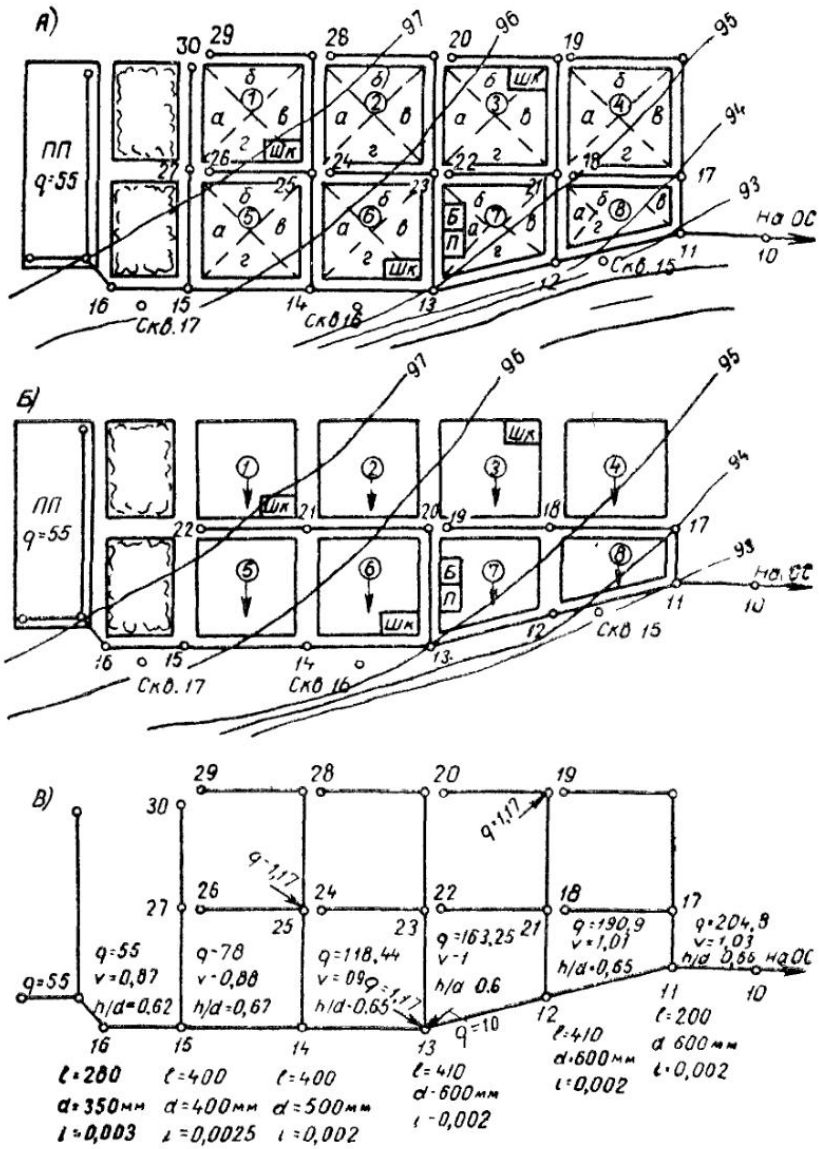


Рис 3.15 Трассировка канализационной сети

А — по объемлющей схеме; *Б* — по пониженной стороне квартала; *В* — расчетная схема; *1—8* в кружках — номера кварталов, *а—г* — площади водосбора кварталов, *Шк* — школа; *Б* — баня; *П* — прачечная; *ПП* — промышленное предприятие, *ОС* — очистная станция

площади расположенных выше кварталов, а поэтому необходимость деления площади кварталов биссектрисами отпадает.

Попутный расход получают умножением площади квартала на удельный расход q_0 (см. § 15):

$$q = \omega q_0. \qquad (3.34)$$

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

Таблица 3.5

Расчетные расходы сточных вод коллектора

Участок сети	Номер квартала		Площадь стока, га		Модуль стока, л/с на 1 га	Средний расход с кварталов, л/с				Коэффициент часовой неравномерности	Расход, л/с			
	по пути	боковых	попутного	бокового		попутный	боковой	транзитный	общий		жилых кварталов	сосредоточенный		расчетный
												местный	транзитный	
16—15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55	—	55
15—14	5г	1а, 5а	4	8	0,694	2,78	5,56	—	8,34	2,75	23	—	55	78
14—13	6г	1б, 1в, 1г, 2а, 5б, 5в, 6а	4	28	0,694	2,78	19,43	8,34	30,55	2	61,1	2,34	55	118,44
13—12	7г	2б, 2в, 2г, 3а, 6б, 6в, 7а	3	28	0,694	2,08	19,43	30,55	52,06	1,84	95,9	10	57,34	163,25
12—11	8г	3б, 3в, 3г, 4а, 7б, 7в, 8а	2,5	25	0,694	1,74	17,35	52,06	71,15	1,72	122,39	1,17	67,34	190,9
11—10	—	4б, 4в, 4г, 8б, 8в	—	16,5	0,694	—	11,45	71,15	82,6	1,65	136,29	—	68,51	204,8
10—ОС	—	—	—	—	—	—	—	82,6	82,6	1,65	136,29	—	68,51	204,8

Примечание. Коэффициенты часовой неравномерности приняты по табл 22.

Таблица 3.6

Гидравлический расчет коллектора

Участок сети	Расчетный расход $q_{расч}$, л/с	Длина, м	Уклон i	Потеря напора $h = il$, м	Диаметр d, мм	Высота наполнения		Скорость, м/с	Отметки по расчетным участкам сети						Глубина заложения лотка трубы, м	
						h/d в долях диаметра	h, м		поверхности земли		поверхности воды		лотка трубы			
									в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
16—15	55	280	0,003	0,84	350	0,62	0,217	0,87	96,50	96,20	94,717	93,877	94,500	93,660	2	2,54
15—14	78	400	0,0025	1	400	0,67	0,268	0,88	96,20	95,60	93,877	92,877	93,610	92,610	2,59	2,99
14—13	118,44	400	0,002	0,8	500	0,65	0,325	0,9	95,60	95,00	92,835	92,035	92,510	91,710	3,09	3,29
13—12	163,25	410	0,002	0,82	600	0,6	0,36	1	95,00	94,20	91,97	91,15	91,610	90,790	3,39	3,41
12—11	190,9	410	0,002	0,28	600	0,65	0,39	1,01	94,20	93,00	91,15	90,39	90,760	89,940	3,44	3,06
11—10	204,8	200	0,002	0,4	600	0,66	0,396	1,03	93,00	92,00	90,33	89,93	89,934	89,534	3,07	2,47

Методика определения расчетных расходов приведена в табл. 3.5. Выбор наиболее экономичного из двух вариантов трассировок, приведенных на рис. 3.15, *А* и *Б*, обосновывается технико-экономическим сравнением.

§ 28. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОТНОЙ СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Проектирование высотной схемы канализационных сетей заключается в составлении продольного профиля коллектора, в назначении начальных глубин заложения сети, уклонов и отметок в местах сопряже-

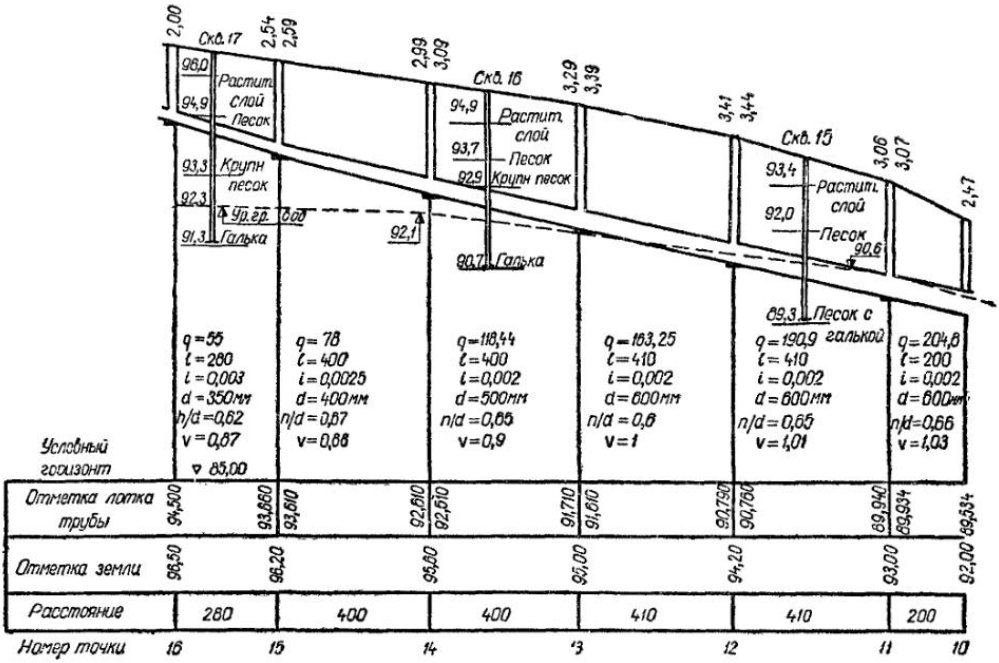


Рис. 3.16. Продольный профиль коллектора

ния труб в соединительных колодцах и камерах. Профиль составляют одновременно с гидравлическим расчетом канализационной сети.

Вначале вычерчивают в установленных масштабах профиль поверхности земли по трассам проектируемых сетей (рис. 3.16). На профиль переносят с плана (см. рис. 3.15) расчетные точки, определяют длину расчетных участков. Одновременно заготовляют бланк (табл. 3.6), в который заносят результаты вычислений; расчетные расходы принимают из табл. 3.5.

Затем определяют начальное заглубление уличной сети и выявляют участки сети, диктующие наибольшую или наименьшую глубину заложения коллектора.

Обычно на профиле к техническому проекту (см. рис. 3.16) 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. При плоском рельефе назначают минимальные уклоны по эмпирической формуле (3.22) или по рис. 3.8.

Соединение труб в колодце по высоте принимают в соответствии с отметками уровня в них воды, не допуская подпора в лежащих выше участках сети.

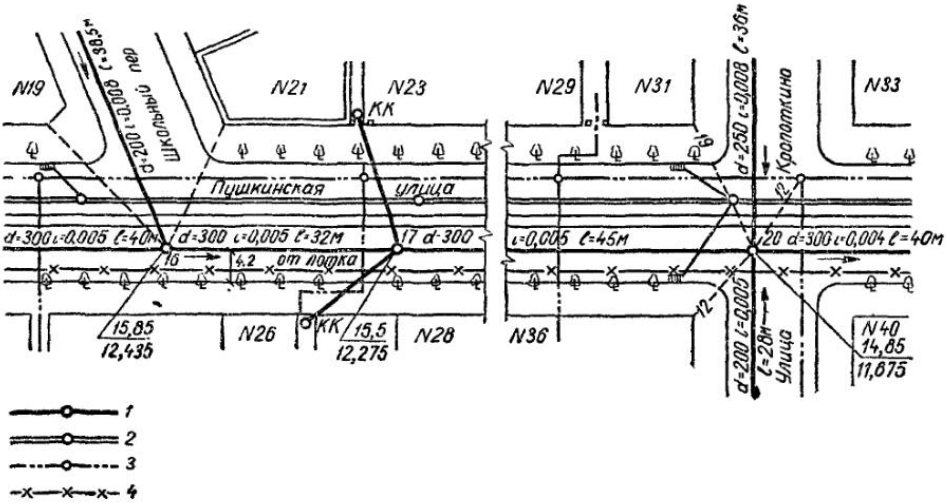


Рис. 3.17. План участка уличной канализационной сети (диаметры даны в мм)

1 — проектируемая канализация (вычерчивается на плане красным); *2* — водосток, *3* — водопровод, *4* — газопровод; *КК* — контрольные колодцы; $\frac{15,85}{12,435}$, $\frac{15,5}{12,275}$, $\frac{14,85}{11,675}$ — отметки (над чертой — поверхности земли, под чертой — лотка колодца)

Существуют два способа соединения труб по высоте: по уровням воды и по шелыгам труб (шелыга в шелыгу). Шелыга (верхняя образующая свода) трубы меньшего диаметра должна совпадать с шелыгой трубы лежащего ниже участка.

Трубопроводы разных диаметров соединяют в колодцах, как правило, по шелыгам 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 шелыгам вызывает излишнее заглубление сети (при плоском рельефе).

В рабочих чертежах план канализационной сети составляют в масштабе 1 : 500, причем для проездов пользуются отдельными планшетами по трассе канализационных линий. На рис. 3.17 приведен образец такого плана. На чертеже наносится точное расположение канализационных линий со всеми смотровыми колодцами. Расположение последних определяют засечками от двух углов зданий или иных закрепленных точек (как показано на рисунке пунктиром). 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 канализационные линии или находящихся в непосредственной близости к ним. В отли-

чие от профиля, составленного для технического проекта (см. рис. 3.16), 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. Номер смотрового колодца, установленный в проекте, остается за ним в течение всего периода эксплуатации. На профиле показывают расположение всех подземных сооружений, пересекающих трассу канализационной линии, и отметки их заложения.

При совмещенной прокладке нескольких трубопроводов различного назначения (бытовая и дождевая канализации, водопровод, газопровод, теплофикация; см. рис. 3.12) 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.

§ 29. КОНСТРУИРОВАНИЕ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

Основные правила конструирования сети заключаются в следующем. Канализационные 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 шелыгам труб. Боковые присоединения к канализационным коллекторам, осуществляемые устройством вертикальных перепадов, могут присоединяться под любым углом.

Необходимо учитывать местные потери напора в колодцах и не допускать подтопления сети (см. § 22).

Расчетная скорость в коллекторах должна быть возрастающей по течению (см. табл. 3.6). 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 разница в размерах труб диаметром до 300 мм для бытовой канализации 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 канализации 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 быстротоков, после которых устраивают перепадные колодцы с водобоем для гашения скорости течения жидкости.

Глава VIII.

ТРУБЫ И КОЛЛЕКТОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

§ 30. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАТЕРИАЛУ ТРУБ И КАНАЛОВ

Трубы и каналы, применяемые в канализации 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 ка-

нализационной 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 канализационных 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 изготовляться из предварительно напряженного железобетона заводским способом; иметь простую форму, удобную для изготовления, транспортирования и монтажа, и наименьшее количество типоразмеров; быть взаимозаменяемыми, коррозиеустойчивыми и водонепроницаемыми в обычных условиях, а также при воздействии статических и динамических нагрузок и изменении температур.

§ 31. КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ ТРУБЫ

Материал труб для устройства канализации следует выбирать в соответствии с назначением трубопроводов, а также с составом сточных и грунтовых вод. Самотечную канализационную 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.

Таблица 3.7

Керамические канализационные трубы (ГОСТ 286—64)

Диаметр ствола трубы, мм		Длина трубы L, мм	Толщина стенки ствола и раструба s, мм	Раструбы труб			Масса 1 м трубы, кг
				диаметр, мм		ширина плечика, мм	
внутренний d	наружный D_1			внутренний D_2	наружный D_3		
150	188	1000 и 1200	19	224	262	37	32,5
200	240		20	282	322	41	43,5
250	294	800, 1000 и 1200	22	340	384	45	65,9
300	350		25	398	448	49	79
350	406		28	456	512	53	92,1
400	460		30	510	570	55	115
450	518		34	568	636	59	140,5
500	572		36	622	694	61	155

Керамические трубы (рис. 3.18, *а*) применяют с внутренним диаметром 150—500 мм и длиной 800—1200 мм по ГОСТ 286—64 (табл. 3.7).

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 канализации из-за достаточной прочности, водонепроницаемости, долговечности и способности противостоять химическим и температурным воздействиям; они имеют гладкие стенки и удобны в укладке.

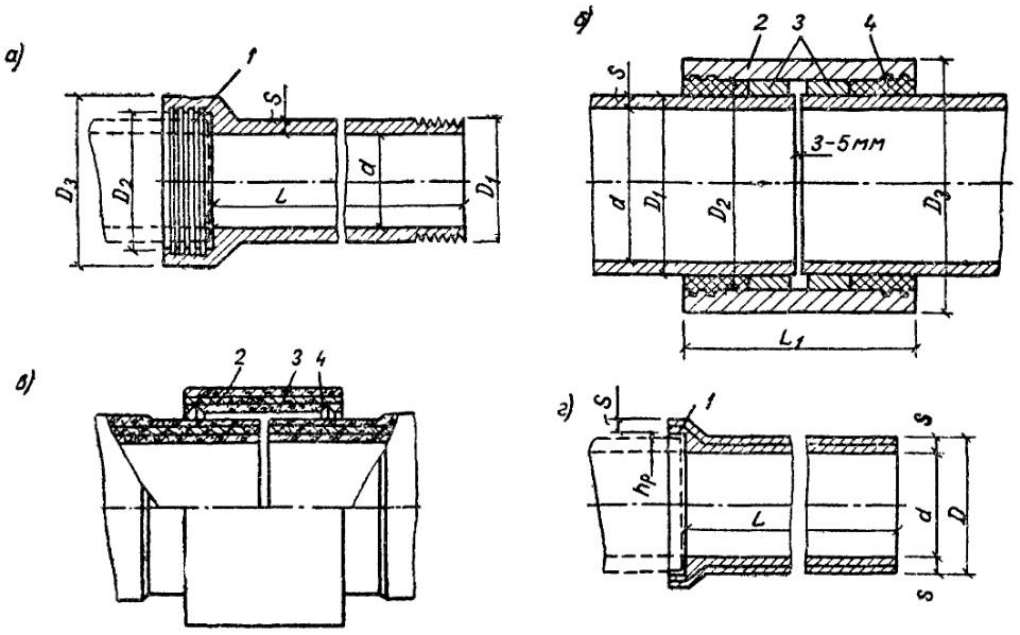


Рис. 3.18. Трубы

а — керамические; *б* — асбестоцементные; *в*, *г* — железобетонные соответственно с гладкими концами и раструбные; *1* — раструб; *2* — муфта; *3* — уплотнительный материал (просмоленный канат); *4* — замок (асбестоцемент или асфальтовая мастика)

Керамические кислотоупорные трубы (ГОСТ 585—67) применяют для отведения производственных сточных вод с кислой реакцией. Их изготовляют 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 изготовляют 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 (рис. 3.18, *б*) находят широкое применение в канализационном строительстве. 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, изготовляемых из той же массы, что и трубы. Размеры труб и муфт по ГОСТ 1839—72 приведены на рис. 3.18 и в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Асбестоцементные безнапорные трубы с муфтами (ГОСТ 1839—72)

Размеры труб, мм					Справочная масса, кг	Размеры муфт, мм				Справочная масса, кг
условный проход	диаметр		толщина стенки s	длина L		диаметр		толщина стенки s_1	длина L_1	
	внутренний d	наружный D				внутренний d_1	наружный D_1			
100	100	118	9	2950	18	140	160	10	150	1,5
150	141	161	10	2950	28	188	212	12	150	2
200	189	211	11	3950	52	234	262	14	150	3
300	279	307	14	3950	99	334	366	16	150	5
400	368	402	17	3950	160	441	477	18	180	9

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 (рис. 3.18, *в* и *г*) изготовляют 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 и 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 (табл. 3.9).

Госстроем СССР разрешаются к применению трубы диаметром условного прохода 700, 900, 1500 и 2500 мм, не предусмотренные в новом ГОСТ 6482—71, 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—6 м, а усиленных — до 5—6 м; труб с плоской подошвой нормальной прочности — до 4—6 м, а усиленных — до 6—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 водоне-

Таблица 3.9

Железобетонные безнапорные трубы нормальной и повышенной прочности по ГОСТ 6482—71

Марка труб						Диаметр условного прохода трубы D_y, мм	Толщина стенки трубы s, мм	Ширина подошвы b, мм	Полезная длина трубы L, мм, не менее	Справочная масса труб, м			
раструбных с раструбом типа				фальцевых						раструбных		фальцевых	
А		Б											
круглых	с плоской подошвой	круглых	с плоской подошвой	круглых	с плоской подошвой					круглых	с плоской подошвой	круглых	с плоской подошвой
РТ-4н РТ-4у	— —	РКТ-4н РКТ-4у	— —	ФТ-4н ФТ-4у	— —	400	50	—	5000	1	—	0,8	—
РТ-5н РТ-5у	— —	РКТ-5н РКТ-5у	— —	ФТ-5н ФТ-5у	— —	500	60	—	5000	1,4	—	1,3	—
РТ-6н РТ-6у	РТП-6н РТП-6у	РКТ-6н РКТ-6у	РКТП-6н РКТП-6у	ФТ-6н ФТ-6у	ФТП-6н ФТП-6у	600	60	480	5000	1,7	2,2	1,5	1,95
РТ-8н РТ-8у	РТП-8н РТП-8у	РКТ-8н РКТ-8у	РКТП-8н РКТП-8у	ФТ-8н ФТ-8у	ФТП-8н ФТП-8у	800	80	640	5000	3	3,6	2,7	3,4
РТ-10н РТ-10у	РТП-10н РТП-10у	РКТ-10н РКТ-10у	РКТП-10н РКТП-10у	ФТ-10н ФТ-10у	ФТП-10н ФТП-10у	1000	100	800	5000	4,8	5,8	4,3	5,4
РТ-12н РТ-12у	РТП-12н РТП-12у	РКТ-12н РКТ-12у	РКТП-12н РКТП-12у	ФТ-12н ФТ-12у	ФТП-12н ФТП-12у	1200	110	960	5000	6,3	7,45	5,7	6,95
РТ-14н РТ-14у	РТП-14н РТП-14у	РКТ-14н РКТ-14у	РКТП-14у РКТП-14н	ФТ-14н ФТ-14у	ФТП-14н ФТП-14у	1400	110	1200	5000	7	8,8	6,5	8,5
РТ-16н РТ-16у	РТП-16н РТП-16у	РКТ-16н РКТ-16у	РКТП-16у РКТП-16н	ФТ-16н ФТ-16у	ФТП-16н ФТП-16у	1600	120	1200	5000	8	10,1	7,8	9,7
РТ-20н	РТП-20н	—	—	ФТ-20н	ФТП-20н	2000	130	1300	4500	10,6	13,3	9,7	12,2
РТ-24н	РТП-24н	—	—	ФТ-24н	ФТП-24н	2400	150	1600	3000	10,6	12,8	8,9	11,4
—	—	—	—	ФТ-30н	ФТП-30н	3000	По рабочим чертежам, разрабатываемым в зависимости от конкретных условий строительства трубопроводов						
—	—	—	—	ФТ-34н	ФТП-34н	3400							
—	—	—	—	ФТ-40н	ФТП-40н	4000							

проницаемость 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 (см. рис. 3.18, *в* и *г*). 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 канализационных 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, изготовляемые методом центробежного и полунепрерывного литья, нормируются ГОСТ 9585—61.

Промышленностью освоен выпуск чугунных напорных труб с быстромонтируемыми 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 быстротоков 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 облегченныей 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 неблагоприятных 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—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.

§ 32. КОЛЛЕКТОРЫ И КАНАЛЫ

В общесплавных, раздельных, комбинированных и производственных системах канализации как в СССР, так и за рубежом 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 (рис. 3.19). 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 (рис. 3.19,*а*) диаметром 600—1800 мм с обычным или уширенным стулом, а при бóльших 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.

На рис. 3.19,*б* представлен комбинированный коллектор из сборных

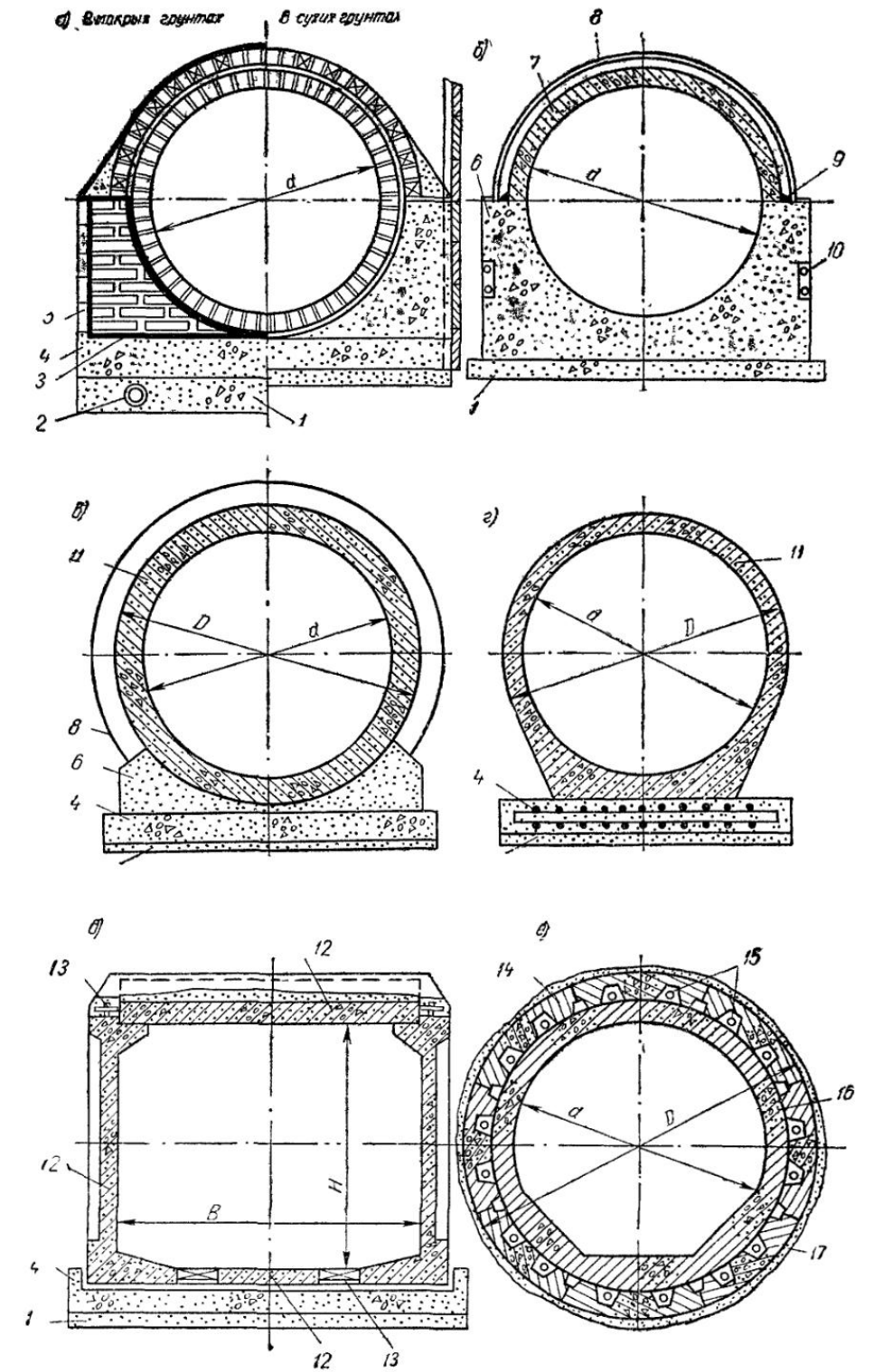


Рис. 3.19. Коллекторы

а — кирпичный; *б* — комбинированный с полукруглым перекрытием; *в*, *г* — из железобетонных труб; *д* — прямоугольный из блоков; *е* — из тюбингов, выполненный способом щитовой проходки; *1* — подготовка; *2* — дренаж; *3* — гидроизоляция; *4* — плита; *5* — стул; *6* — бетонное основание из сборных элементов; *7* — железобетонный свод; *8* — пояс для заделки стыков; *9* — битум; *10* — пояс для крепления блоков; *11* — труба; *12* — блоки; *13* — места замоноличивания; *14* — тюбинги; *15* — шпильки стальные, *d*=30 мм; *16* — водонепроницаемая рубашка; *17* — цементный раствор, нагнетаемый за тюбинги

железобетонных элементов основания и свода, напоминающий по форме кирпичный коллектор. 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 (см. табл. 3.9) или из тех же труб с плоской подошвой; прямоугольные — из сборных железобетонных элементов (рис. 3.19,*д*).

Прямоугольные коллекторы применяют для строительства бытовой и дождевой канализации, а также для прокладки подземных коммуникаций. Только в Москве построено более 180 км прямоугольных сборных каналов из типовых унифицированных элементов. 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 (см. § 33).

Основной конструкцией крупных канализационных коллекторов и водостоков должны быть круглые железобетонные безнапорные трубы, а для напорных — железобетонные напорные трубы, изготовляемые 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 (см. § 33).

Применение длинномерных труб с плоским основанием (рис. 3.19,*г*) 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 2 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 (см. § 40).

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 шебне 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 (см. рис. 3.19,*е*), а при строительстве канала в водонасыщенных грунтах, кроме того, гидроизоляцию. Лоток рубашки железнят цементом марки 500. Если требуется проложить в туннеле, выполненном щитовым способом, коллектор значительно меньшего диаметра, 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 канализации.

§ 33. СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ

Водонепроницаемость и долговечность канализационной сети достигаются тщательной заделкой стыковых соединений при укладке труб.

Стыковые соединения труб должны быть водонепроницаемыми, 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—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 канализационных 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 $^1/_3$—$^1/_2$ 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 ч. естественного асфальта и 1—2 ч. гудрона или битума марки БН-III.

При наличии в сточных водах растворителей битума, а также при температуре сточных вод выше 40° С стыки заделывают цементом или асбестоцементом.

Асбестоцементные стыки (см. рис. 3.18, *б*) 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 — быстросхватывающийся цемент тех же марок.

Большая затрата 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 рези-

новые 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 (рис. 3.20, *а*). Стыки такой конструкции рекомендуются для труб диаметром до 1000 мм.

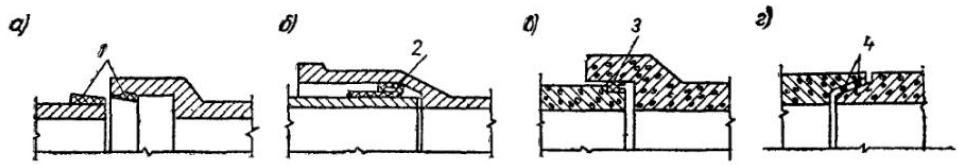


Рис. 3.20. Стыки гибкие для раструбных и фальцевых труб

а — керамических на кольцах из пластизола *1*; *б* — чугунных на резиновых накатных прокладках с кольцами *2*; *в* — железобетонных на резиновых желобчатых кольцах *3*; *г* — фальцевых на круглых резиновых кольцах *4*

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.

На рис. 3.20, *б* показано соединение металлических труб 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, закручивается, 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 (рис. 3.20, *в*).

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 (рис. 3.20, *г*). 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 (см. рис. 3.18, *г*), 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; см. рис. 3.21, *а*), 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 (рис. 3.21, *а*).

Гибкое стыковое соединение, способное воспринимать возможные деформации коллектора без нарушения его герметичности, представле-

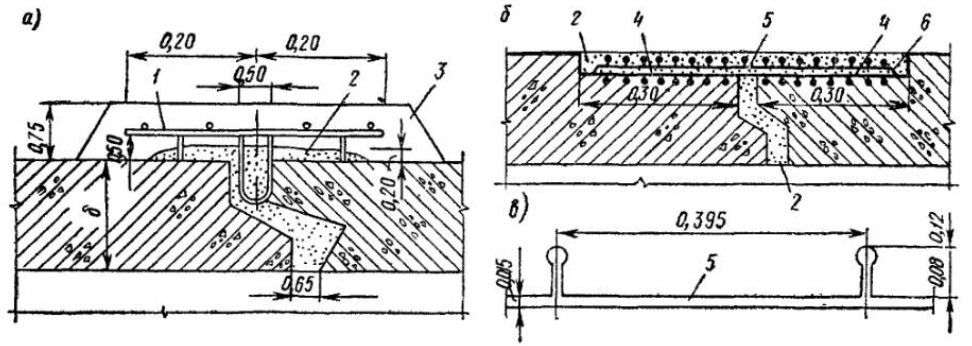


Рис. 3.21. Стыки железобетонных труб большого диаметра

а — жесткий; *б* — гибкий; *в* — поперечное сечение профилированного листа; *1* — сетка шириной 0,4 м, установленная на расстоянии 0,5 дм от наружной стенки трубы; *2* — слой цементно-песчаного раствора толщиной 0,2 дм; *3* — слой торкрет-штукатурки толщиной 0,75 дм; *4* — закладные элементы из профилированного полиэтиленового листа, выступающего по обе стороны стыка на 0,3 м; *5* — профилированный полиэтиленовый лист толщиной 0,015 дм с расстоянием между ребрами 0,395 дм и высотой ребер 0,06—0,12 дм; *6* — сварной шов

но на рис. 3.21, *б*. Конструктивное решение стыкового соединения заключается в сварке закладных полиэтиленовых профилированных листов, установленных в концах труб по внутреннему периметру в момент их изготовления. Профилированные листы изготовляются 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.

§ 34. ОСНОВАНИЯ ПОД ТРУБЫ И КОЛЛЕКТОРЫ, УКЛАДЫВАЕМЫЕ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

При анализе аварий на канализационных 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 глубо-

кими 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 водоносные 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, плывунных, болотистых и просадочных II типа,

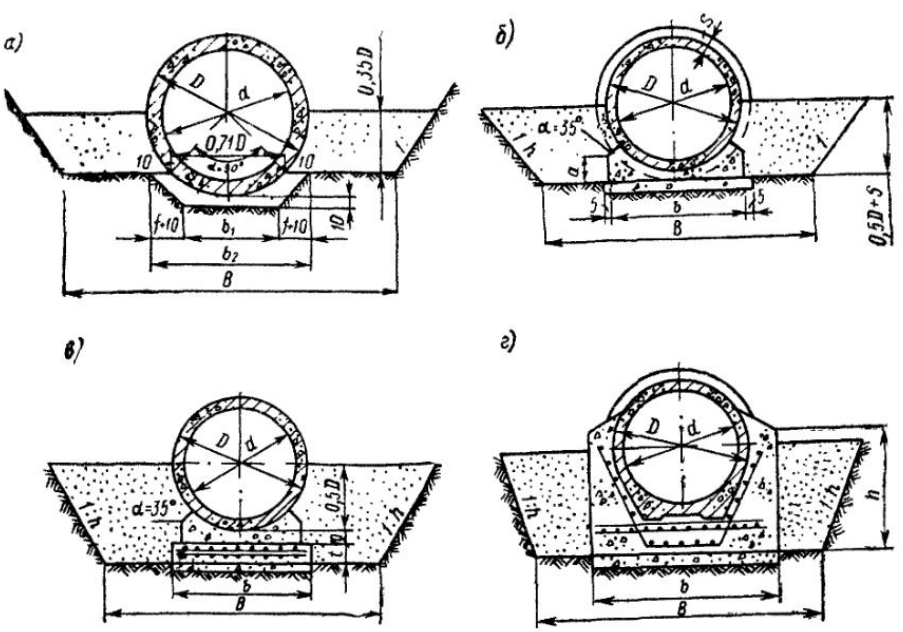


Рис. 3.22. Основание под трубопроводы

а — при глубине заложения до 6 м в сухих грунтах с допускаемым давлением $P > 0{,}15$ МПа для труб диаметром 600—3500 мм; *б* — то же, в мягкопластичных глинистых сухих и водонасыщенных песчаных грунтах с допускаемым давлением $P \leqslant 0{,}15$ МПа для труб диаметром 800—2500 мм; *в* — то же, в свеженасыпных грунтах; *г* — при глубине заложения более 6 м

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 $P \geqslant 0{,}15$ МПа) основанием для всех труб служит песчаная подушка, насыпаемая в выполненный для этой цели по дну траншеи лоток (рис. 3.22, *а*).

В мягкопластичных глинистых и суглинистых грунтах с коэффициентом пористости, равным единице, и в пылеватых грунтах средней плотности, насыщенных водой, при допускаемом давлении на грунт $P \leqslant 0{,}15$ МПа для прокладки тех же труб предусматриваются бетонная плита и стул с углом охвата 135° из бетона марки 200 (рис. 3.22, *б*).

В свеженасыпных грунтах с ожидаемой неравномерной осадкой для предупреждения нарушения стыковых соединений труб основание следует устраивать из монолитного железобетона (рис. 3.22, *в*).

Толщину основания принимают:

для труб диаметром до 1000 мм	0,1 м
» » » 1200—2400 »	0,15 »
» » » более 2400 »	0,2 »

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 (рис. 3.22, *г*). 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 плывунах 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 (см. § 44).

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.

Глава IX.

СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

§ 35. СМОТРОВЫЕ КОЛОДЦЫ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ КАМЕРЫ

Смотровым колодцем или камерой называют шахту, расположенную над канализационной трубой или коллектором, внутри которой труба или коллектор заменены открытым лотком (рис. 3.23).

Смотровые колодцы и камеры на канализационных 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 на расстояниях, зависящих от диаметра труб:

при диаметре труб	150 мм	35 м
» »	200—450 мм	50 »
» »	500—600 »	75 »
» »	700—900 »	100 »
» »	1000—1400 »	150 »
» »	1500—2000 »	200 »
» »	свыше 2000 »	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 (рис. 3.24).

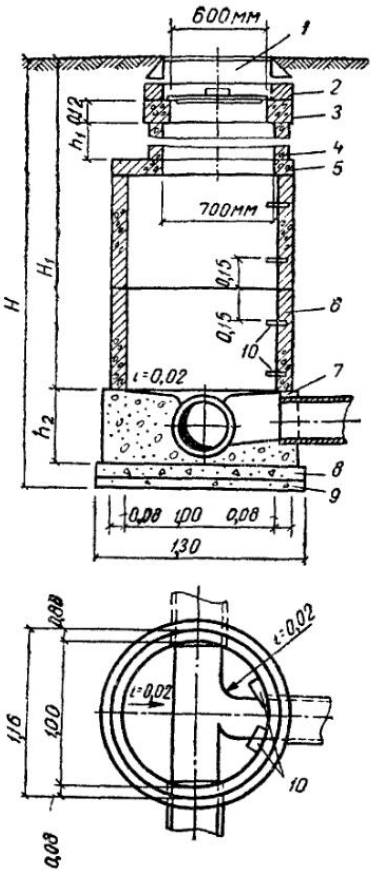


Рис. 3.23. Смотровой колодец из колец для уличной сети диаметром до 600 мм

1 — чугунный люк с крышкой; *2, 3* — кольца соответственно регулировочное и опорное; *4, 6* — железобетонные кольца диаметром соответственно 700 и 1000 мм; *5* — плита; *7* — регулировочные блоки или кирпичные камни; *8* — основание; *9* — подготовка; *10* — скобы

Узловые колодцы устраивают в местах соединения двух-трех канализационных 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 слу-

жат для контроля за работой канализационной сети присоединяемых объектов.

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

Перепадные колодцы предусматривают на участках, где отметки лотка подводящей и отводящей труб резко различны (см. § 36).

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.

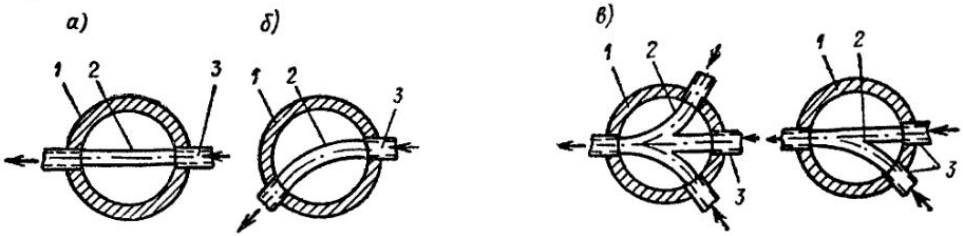


Рис. 3.24. Лотки смотровых колодцев

а — линейных; *б* — поворотных; *в* — узловых; *1* — стенки колодца; *2* — лотки; *3* — трубы

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
»	»	»	700	»	. . . .	1250 »
»	»	»	800—1000	»	. . . .	1500 »
»	»	»	1200	»	. . . .	2500 »

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 (см. рис. 3.23).

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 шелыги 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—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. 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.

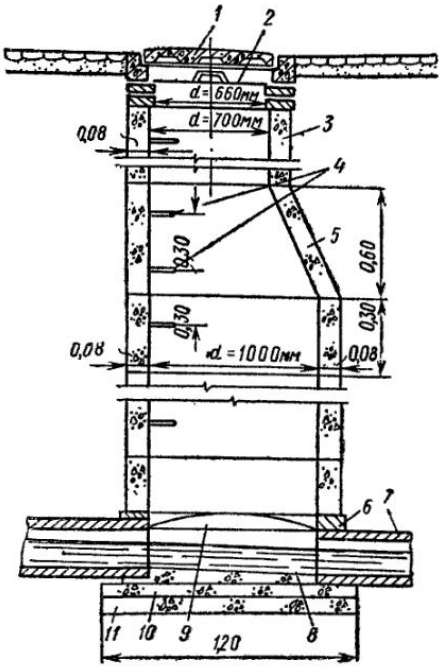


Рис. 3.25 Смотровой колодец из железобетонных колец

1 — железобетонный люк с крышкой; *2* — внутренняя крышка, *3* — горловина; *4* — скобы; *5* — конус; *6* — водонепроницаемая заделка трубы в стенке колодца; *7* — трубы; *8* — открытый лоток; *9* — берма, *10* — основание; *11* — подготовка

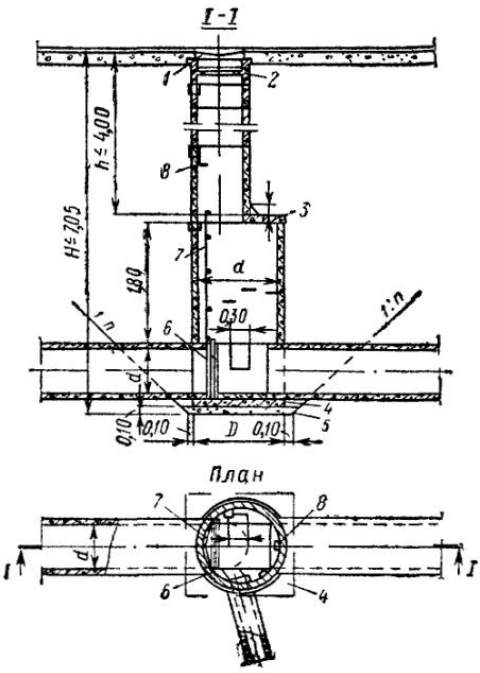


Рис. 3.26. Типовой колодец для коллекторов

1 — люк с крышкой; *2* — крышка; *3* — плита; *4* — основание; *5* — подготовка; *6* — направляющие для установки шибера; *7* — лестница; *8* — подвесная скоба

Переходную часть круглого колодца между рабочей камерой и горловиной ранее выполняли в виде одностороннего конуса (рис. 3.25). Такие колодцы нашли повсеместное применение в канализации. По новому 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.

На рис. 3.26 показан круглый типовой колодец из сборных железобетонных элементов, рекомендуемых для строительства на коллекторах диаметром 300—600 мм. Рабочую камеру устанавливают одновременно с прокладкой трубопровода. При необходимости в колодце преду-

сматривают 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 канализационных колодцев принимается не менее 0,1 МПа.

Прямоугольные колодцы и камеры собирают из сборных железобетонных стеновых панелей; формы и размеры сборных элементов позволяют изготовлять 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 канализационных сетей. Железобетонные плиты перекрытий колодцев изготовляют 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 так, как это показано на рис. 3.23 и 3.26.

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 (см. рис. 3.25) с крышками. Крышки люков на асфальтированных проездах устанавливают в уровень с поверхностью проезжей части; на незамощенных проездах — с возвышением на 50—70 мм с устройством отмостки шириной 1 м вокруг люка.

На специальных камерах устраивают горловины бóльших 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 заложенных 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.

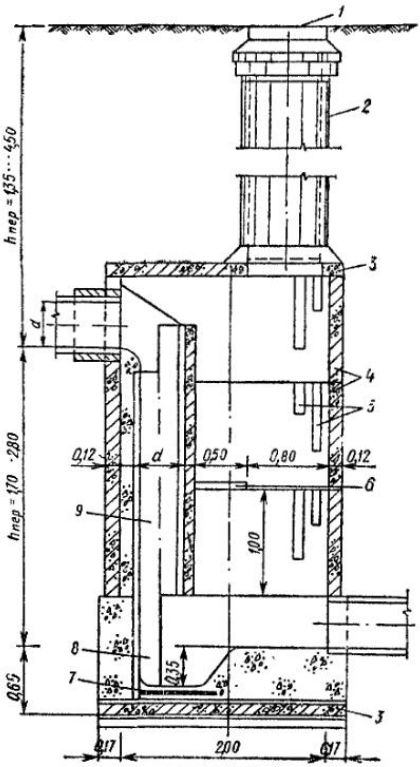
§ 36. ПЕРЕПАДНЫЕ КОЛОДЦЫ

Перепадные колодцы на канализационной 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 приямком, расположенных в рабочей камере смотрового колодца (рис. 3.27). Гидравлический расчет колодцев не производят, их размеры принимают конструктивно.

В колодце над стояком устраивают приемную воронку, а под стояком — водобойный приямок с металлической плитой в основании. При диаметре стояка до 300 мм допускается установка направляющего ко-



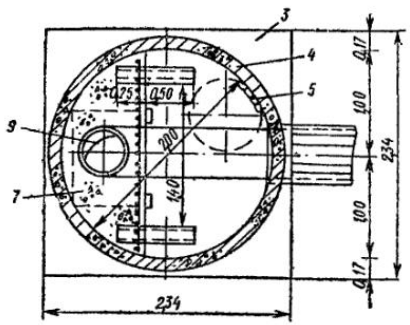
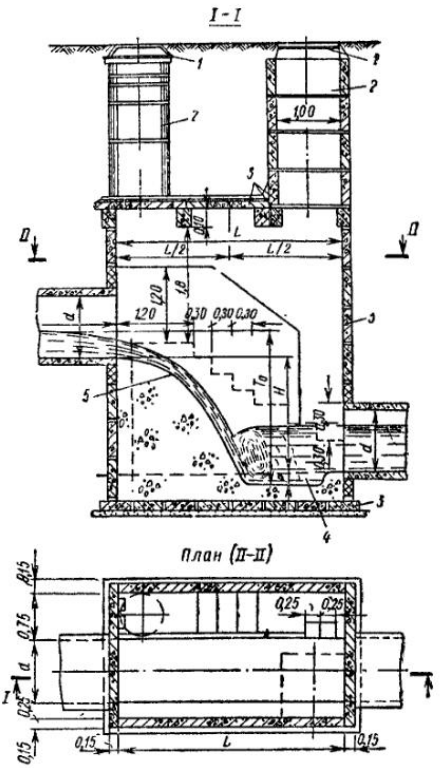


Рис. 3.28. Перепадный колодец с водосливом практического профиля

1 — люки с крышками; *2* — горловины; *3* — стены из сборных железобетонных блоков; *4* — водобойный приямок; *5* — водослив



◀

Рис. 3.27. Типовой перепадный колодец

1 — люк с крышкой; *2* — горловина; *3* — железобетонная плита; *4* — кольца; *5* — подвесные скобы; *6* — консоль; *7* — стальная плита; *8* — водобойный приямок; *9* — вертикальный стояк

лена взамен водобойного приямка. 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 приямком для образования затопленного прыжка, что необходимо для гашения разрушающей скорости потока (рис. 3.28).

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. При этом пользуются способом подбора с помощью номограммы (рис. 3.29).

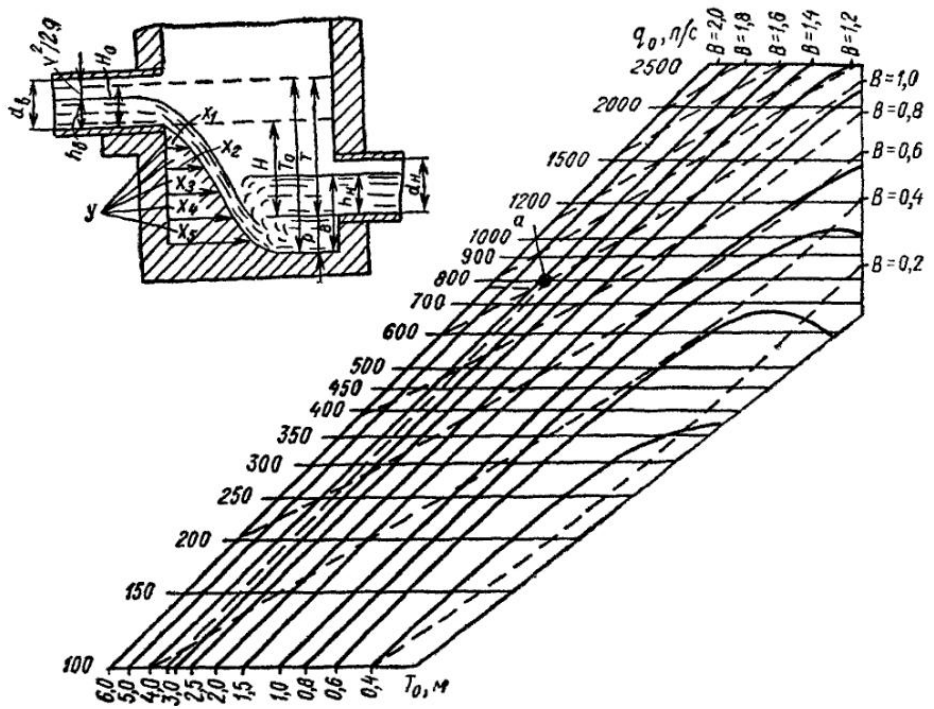


Рис. 3.29. Номограмма для гидравлического расчета перепадных колодцев практического профиля

Глубина водобоя

$$p = B - h_н, \tag{3.35}$$

где $h_н$ — наполнение отводящего коллектора при равномерном движении воды, м;

B — высота водяной подушки, м; для критической глубины водобоя

$$B = 0{,}451 q_0 / \sqrt{h_c} - 0{,}5 h_c, \tag{3.36}$$

здесь q_0 — расход на единицу ширины отводящей трубы ($q_0 = q/d$, где q — расчетный расход, м³/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):

$$T_0' = H + h_в + v^2/2g, \tag{3.37}$$

где H — напор на водосливе (высота перепада), м;

$h_в$ — наполнение подводящего коллектора при равномерном режиме;

v — скорость потока, м/с.

Затем по значению T_0' и q_0 определяют в первом приближении величину B' по той же номограмме (см. рис. 3.29) и величину p'.

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

$$T_0 = H + p' + h_в + v^2/2g \tag{3.38}$$

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

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

$$T_0 = h_c + \frac{q_0}{2g\varphi^2 h_c^2}. \tag{3.39}$$

Длину колодца и длину водобойной части определяют по формулам:

$$L = 2l_1; \tag{3.40}$$

$$l_1 = 1{,}15\sqrt{H_0(H + 0{,}33H_0)}; \tag{3.41}$$

$$H_0 = h_в + \frac{v^2}{2g}. \tag{3.42}$$

Сливную поверхность водослива строят по координатам x и y, при этом задаются величиной y, а по табл. 3.10 определяют:

$$x = l_1\sqrt{y/H}. \tag{3.43}$$

Таблица 3.10

Координаты точек параболы водослива, мм (к рис. 3,29), при l_1=3,75 м

y	y/H	$\sqrt{y/H}$	x	y	y/H	$\sqrt{y/H}$	x
200	0,0909	0,302	1133	1400	0,6363	0,797	3089
400	0,1818	0,426	1598	1600	0,7272	0,852	3195
600	0,2727	0,522	1958	1800	0,8181	0,904	3380
800	0,3636	0,603	2261	2000	0,909	0,95	3563
1000	0,4545	0,674	2520	2200	1	1	3750
1200	0,5454	0,738	2768				

В ленинградской канализации 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 $q_{макс}$, м³/с, по формуле

$$D_{ст} = 0{,}55q_{макс}^{0{,}375}. \tag{3.44}$$

Размеры и глубина приямка под шахтным водосливом определяются гидравлическим расчетом.

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

$$q = a\omega^{1{,}27}. \tag{3.45}$$

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

§ 37. ДЮКЕРЫ, ПЕРЕХОДЫ И ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С ТРУБОПРОВОДАМИ

В местах пересечения канализационной 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 (рис. 3.30).

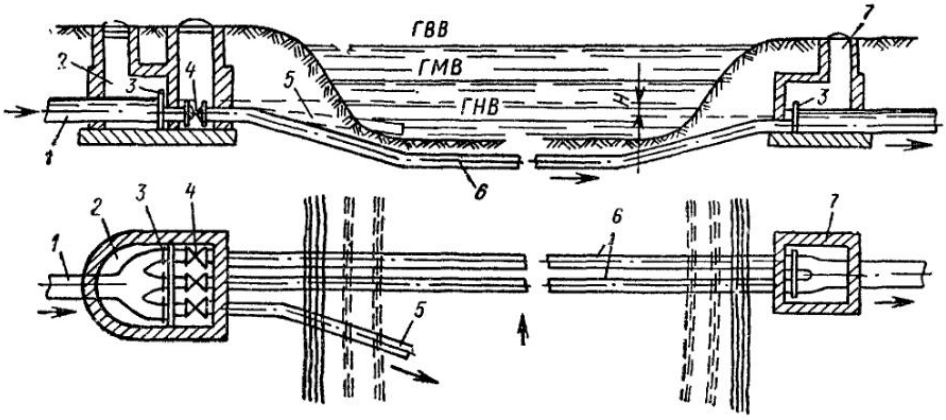


Рис. 3.30. Дюкер

1 — коллектор; *2* — входная камера; *3* — направляющие для установки щибера; *4* — задвижка; *5* — аварийный выпуск; *6* — напорные трубы; *7* — выходная камера

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—1,5 м.

Входную камеру дюкера (рис. 3.31) разделяют бетонной стенкой на две части: мокрую и сухую. В мокрой размещают открытые лотки, в сухой — трубы, задвижки или щитовые затворы, с помощью которых 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 бóльших 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 сте-

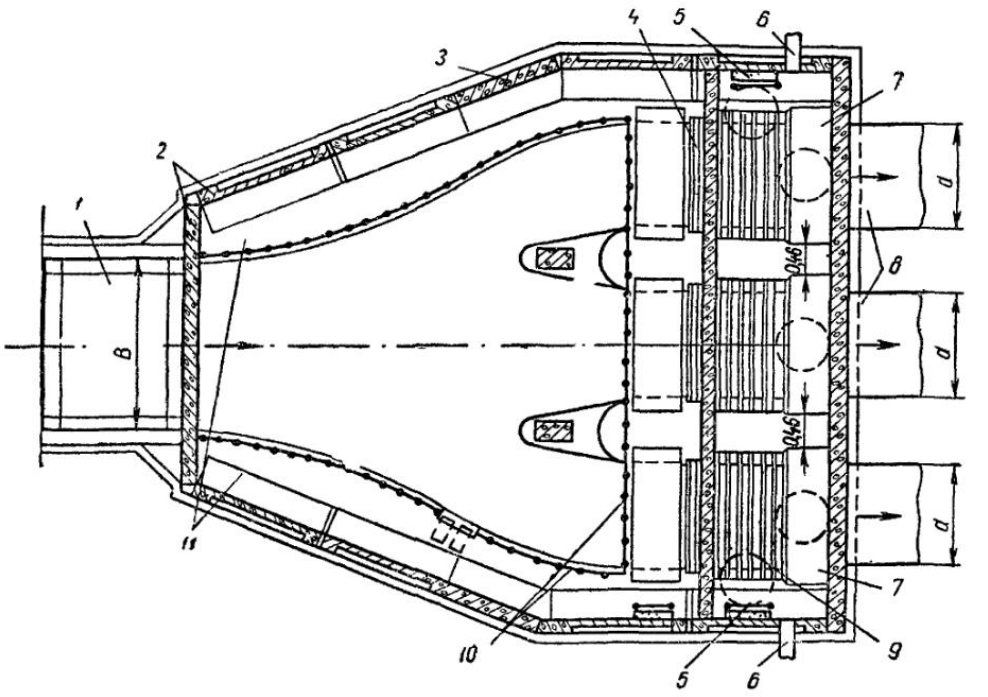


Рис. 3.31. Входная камера дюкера из сборных железобетонных блоков

1 — прямоугольный коллектор; *2* — блоки; *3* — вставка из монолитного железобетона; *4* — направляющие для шиберов; *5* — лестница для спуска; *6* — вентиляционная труба; *7* — механизированные щитовые затворы; *8* — трубы дюкера; *9* — съемные решетки, *10* — металлические ограждения; *11* — лотки из монолитного бетона марки 200

ны торкретируют, а у кирпичных стен швы расшивают 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 — выпуски для опорожнения и промывки дюкера на случай ремонта.

Дюкер заканчивается выходной камерой, где напорные трубы переходят в самотечный коллектор. Здесь же устачавливают 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 недоступны для осмотра, а потому для обеспечения надежной и бесперебойной работы расчетные скорости течения неосвет-

ленной жидкости в них принимают не менее 1 м/с, а в коллекторе перед дюкером — не более скорости в дюкере.

В общесплавных системах канализации 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.

В Москве освоен способ укладки дюкера одновременно из двух линий в подготовленную траншею в течение одной ночи без перерыва на реке судоходства и без разборки набережных.

Эстакады устраивают при пересечении самотечных коллекторов с оврагами. Эстакада по конструкции более проста, чем дюкер, и может одновременно использоваться как пешеходный мост (рис. 3.32). Эста-

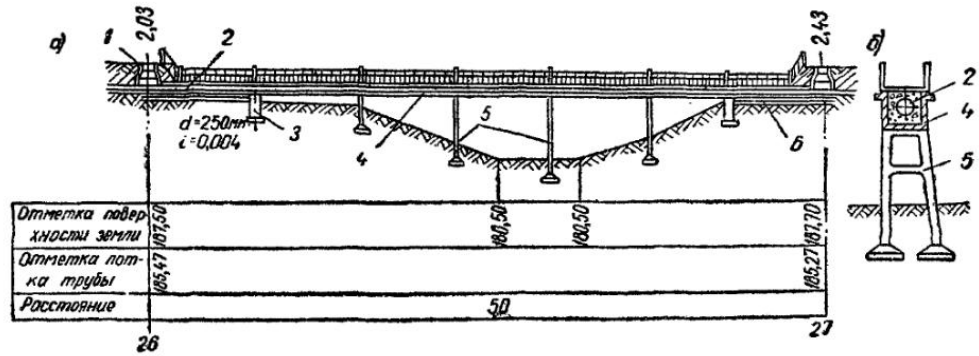


Рис. 3.32. Эстакада через овраг

а — продольный разрез; *б* — поперечный разрез; *1* — колодец; *2* — труба; *3* — подпорная стенка; *4* — железобетонный сборный кожух; *5* — железобетонные опоры; *6* — подготовка под короб

када 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-эпидемиологической службы. Расстояние между ревизиями принимают 50 м и более аналогично расстановке линейных смотровых колодцев (см. § 35). К выбору трассы эстакады предъявляются такие же требования, как и к выбору трассы дюкеров.

Напорные канализационные 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 (рис. 3.33, *а*), а в остальных случаях — самотечные (рис. 3.33, *б*).

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 бестраншейной проходке. При пересечениях канализационными линиями электрифицированных железных дорог необходимо защищать металличе-

ские 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.

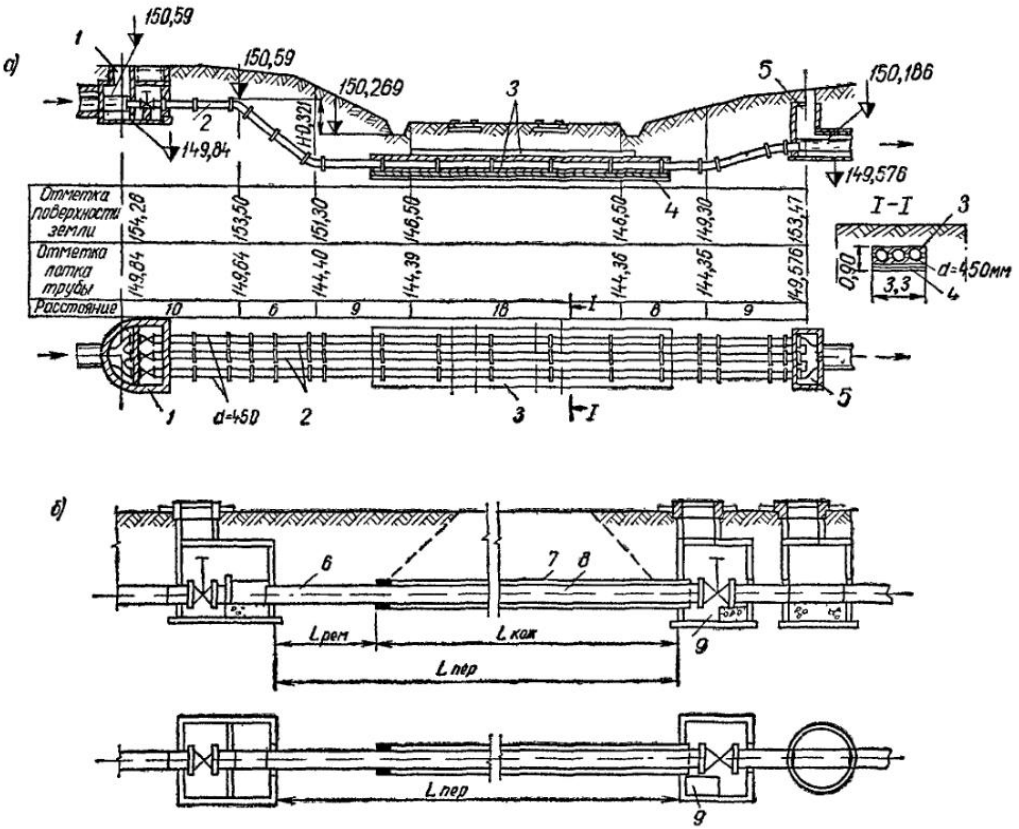


Рис 3 33. Переходы под железнодорожными путями

а — дюкером; *б* — в футляре, *1* — входная камера; *2* — дюкерные трубы; *3* — стул из железобетона; *4* — основание под стул, *5* — выходная камера; *6* — ремонтный участок, *7* — футляр из стальных труб, *8* — самотечный коллектор; *9* — приямок

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 щитовой проходке — не менее диаметра щита.

Проекты переходов под железными и автомобильными дорогами I и II категории необходимо согласовывать с органами министерств путей сообщения СССР или автомобильного транспорта и шоссейных дорог союзных республик.

Переходы дюкерного типа (см. рис. 3.33, *а*) 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 (см. рис. 3.33, *б*) выполняют из труб того же диаметра, что и подводящий коллектор, с сохранением неизменных скоростей течения и степени наполнения. Канализационные самотечные

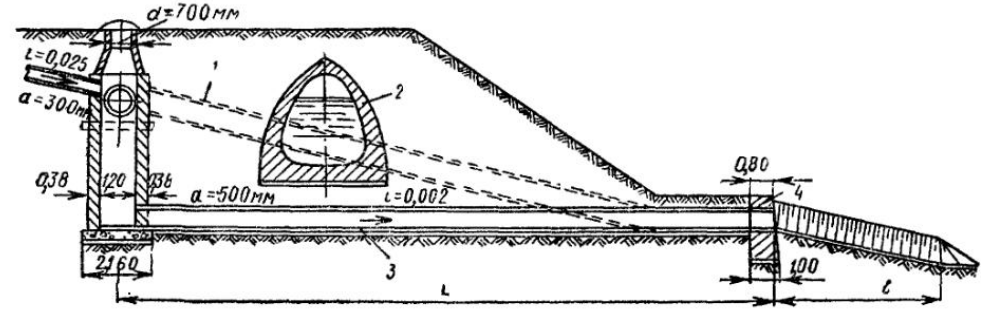


Рис. 3.34. Пересечение канализационных коллекторов различного назначения

1 — существующий коллектор дождевой канализации; *2* — проектируемый коллектор производственно-бытовой канализации; *3* — проектируемый выпуск; *4* — оголовок

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 (см. рис. 3.33, *а*); в) труба в футляре-кожухе (см. рис. 3.33, *б*); 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 (см. § 40). Внутренние диаметры футляров и непроходных туннелей при прокладке в них трубопроводов принимают: при открытом способе производства работ — на 200 мм более наружного диаметра трубопроводов; при закрытом способе производства работ в зависимости от длины перехода и диаметра трубопроводов — по указаниям главы СНиП III-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 обеспечена сохранность трубопроводов, расположенных вблизи места раскопки.

При пересечении коллекторов в одном уровне необходимо предусматривать перепад на одном коллекторе (рис. 3.34). Иногда перестраивают коллектор дождевой канализации, чтобы оставить без перекладки крупный коллектор бытовой канализации. В других случаях перекладывают коллектор бытовой канализации в виде короткого дюкера, а коллектор дождевой канализации оставляют без изменений. Устройство дюкера целесообразно на бытовой канализации, работающей при постоянном притоке сточных вод. Аналогичным образом устраивают пересечение канализационных коллекторов с различными туннелями.

Иногда допускается пересечение водостоком шелыги канализационного коллектора. Круглое сечение коллектора на небольшом участке меняют на полукруглое для уменьшения его высоты в точке пересечения. Коллектор небольшого диаметра при пересечении с крупным водостоком можно заключать в футляр из стальных труб и пропускать через водосток без изменения его направления, а водосток в этом месте уширить.

Глава X

СТРОИТЕЛЬСТВО КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

§ 38. РАЗБИВКА ТРАССЫ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ И РАЗРАБОТКА ТРАНШЕЙ

Укладку канализационной сети, в зависимости от местных условий, экономических соображений и наличия механизмов, производят открытым или закрытым способом (см. § 40). Наиболее распространенным является открытый способ, при котором стенки траншей устраивают вертикальными либо с откосами. На городских проездах применяют преимущественно траншеи с вертикальными стенками с креплением их, которые позволяют разрабатывать грунт узкой полосой. Преимущества траншей с откосами: возможность механизации земляных работ и совместная прокладка комплекса инженерных сетей в одной траншее (см. рис. 3.12) без крепления стенок.

Разбивку трассы канализационной линии на местности при открытом способе работ производят по проекту. Положение трубопровода в плане определяется трассой прокладки, а в вертикальной плоскости — продольным профилем. Перенесение проектной оси трубопровода с плана (см. рис. 3.17) на местность производят путем выноса поворотных или узловых колодцев *16* и *20*, расположенных на пересечениях проездов, а в центрах колодцев забивают колья. Затем между колодцами провешивают направление оси канализационной линии, отмеряют расстояние от центров промежуточных колодцев *17—19* и в этих точках также забивают колья.

По обе стороны от оси провешенной линии отмечают границы траншеи, откладывая расстояние, равное половине ширины траншеи, и границы колодцев.

Ширину траншеи понизу определяют по наружным диаметрам трубы таким образом, чтобы по бокам трубы было достаточное пространство для работ по заделке стыков (табл. 3.11).

При глубине траншеи до 2 м для труб диаметром до 500 мм ширину траншеи в свету между внутренними стенками крепления ориентировочно принимают равной наружному диаметру трубы плюс 0,6—0,7 м, а для труб диаметром 500 мм и более — плюс 1 м. При глубине траншеи боль-

Таблица 3.11

Ширина траншеи при укладке трубопровода

Диаметр трубы мм	Полная ширина траншей понизу, м, при глубине заложения труб (до низа трубы), м					
	до 2	от 2 до 4	до 2	от 2 до 4	до 2	от 2 до 4
	трубы металлические и асбестоцементные		трубы керамические		трубы железобетонные	
150—200	0,8	0,9	0,9	1	0,9	1
250—350	0,9	1	1	1,1	1,1	1,2
400—450	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
500—600	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8
700—800	1,7	1,8	—	—	1,9	2
900—1000	1,9	2	—	—	2,1	2,2

ше 4 м ширину траншеи увеличивают на 0,1 м на каждый метр глубины сверх 4 м. На горизонтальное или вертикальное крепление траншеи предусматривают увеличение ширины траншеи на 0,1 м, т. е. на толщину двух крепежных досок. В водоносных грунтах и плывунах в связи с необходимостью забивки шпунта ширину траншеи увеличивают на 0,2 м для каждого яруса шпунта.

При плотных грунтах и укладке труб на небольшой глубине траншеи разрабатывают с откосами. Ширину открытых выемок с откосами по дну траншеи принимают на 0,2 м меньше, чем для траншей с вертикальными стенками.

При устройстве сборных железобетонных коллекторов из укрупненных элементов для удобства заделки стыков и гидроизоляции боковых стенок коллектора между стенками траншеи и коллектором оставляют зазор до 0,5 м с каждой стороны.

Необходимо учитывать, что с увеличением ширины траншеи увеличивается и вертикальная нагрузка на коллектор от земляной засыпки. Для увеличения сопротивления коллекторов раздавливающему действию вертикальных сил пространства (пазухи) между коллектором и стенками траншеи должны быть очень плотно заполнены чистым песком или тощим бетоном.

Траншеи с откосами и вертикальными стенками разрабатывают, как правило, механизмами, допуская недобор грунта на 0,1—0,2 м. Подчистка дна траншеи, а также разработка приямков под раструбы и муфты производятся непосредственно перед укладкой труб (см. § 34). После укладки труб приямки засыпают песком и тщательно уплотняют.

Чтобы избежать обрушения грунта и несчастных случаев, вертикальные стенки траншей раскрепляют горизонтальным и вертикальным креплением.

Для горизонтального крепления траншей рекомендуется применять инвентарную опалубку с металлическими распорами. При отсутствии инвентарных креплений применяют деревянные распоры, забиваемые между стойками. Для устойчивости распоры закрепляют кусками досок с выкружками (бобышками), прибиваемыми к стойкам (рис. 3.35, *а*).

Вертикальное крепление применяется при подвижных грунтах. Вертикальное шпунтовое крепление применяется при плывунах или при водоносных мелкозернистых грунтах. Шпунт из 50—75-миллиметровых досок забивается не менее чем на 0,75 м ниже дна траншеи. Шпунтовое крепление рекомендуется применять из металлических шпунтовых свай легкого плоского и корытного профиля с замком (ГОСТ 4681—55*).

Сваи массой до 500 кг и длиной до 10 м забиваются вибропогружателями ВПП-5 и ВПП-8.

Высокий уровень грунтовых вод понижают передвижными установками вакуумного водопонижения УВВ-2М и ПУВВ (Харьков). Водопонижающие установки размещены на прицепе и состоят из приводной станции (центробежного и водоструйного насоса, электродвигателя и циркуляционного бака), коллектора, соединительных рукавов и иглофильтров в количестве до 74 комплектов. Глубина погружения фильтров 8,5 м, мощность установки по воде 35 м³/ч.

Для укладки труб прямолинейно и по заданному уклону над центром каждого колодца перпендикулярно траншее устанавливают обноску, представляющую собой доску, прочно прибитую к двум поставлен-

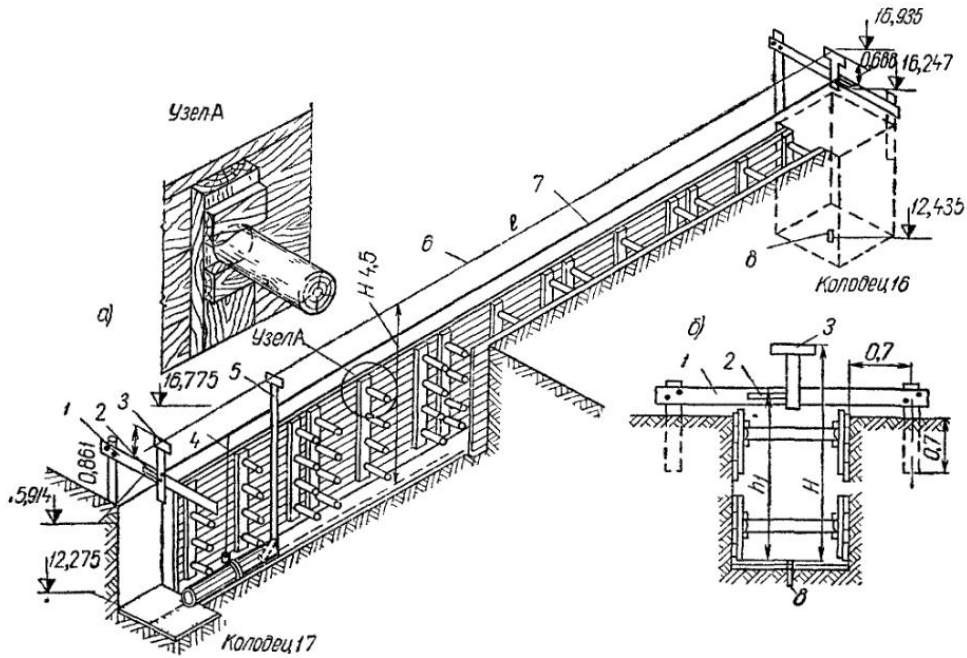


Рис 3 35 Установка обносок и визирок и укладка труб в траншеях со сплошным креплением

1 — обноска, *2* — полочка, *3* — неподвижная визирка; *4* — отвес; *5* — ходовая визирка; *6* — линия визирования, *7* — проволока, *8* —колышек в центре колодца

ным по бокам котлована столбам (рис. 3.35, *б*). На обноске с низовой стороны по направлению движения воды пришивают строго горизонтально по уровню брусок-полочку с гладко выстроганной верхней гранью и нивелиром определяют отметку верхней грани. Рядом с полочкой прибивают Т-образную постоянную визирку также с гладко выструганной верхней гранью, устанавливаемой горизонтально по уровню. Постоянная визирка предназначается для наблюдения за правильностью планировки дна траншеи и укладки труб. Высоту постоянной визирки h_2 принимают с таким расчетом, чтобы высота H от лотка трубы до верхней грани визирок в двух смежных колодцах была одинаковой и равнялась длине так называемой подвижной или ходовой визирки.

Устанавливая ходовую визирку в любой точке траншеи между постоянными визирками, просматривают линию визирования по трем визиркам, проверяя таким образом глубину разработанной траншеи, а затем и правильность укладки каждой трубы.

§ 39. УКЛАДКА ТРУБ И ЗАДЕЛКА СТЫКОВ

Укладывать трубы и заделывать стыки следует в соответствии с указаниями главы СНиП III-Г.4-62. Трубы между двумя колодцами начинают укладывать с нижнего колодца раструбами против течения. Прямолинейность укладываемых труб в плане между центрами колодцев проверяют отвесом, подвешенным к проволоке (причалке), а по высоте — ходовой визиркой (см. рис. 3.35). Первую трубу укладывают одним концом на предварительно уложенное основание колодца раструбом по направлению к верхнему колодцу. После проверки правильности отметок лотка трубы, уложенной на основание, конец трубы заделывают наглухо в стенку колодца. На гладкий конец второй трубы надевают одно или два резиновых кольца либо наматывают два-три витка смоляной пряди, вставляют их в раструб уложенной трубы и слегка подбивают прядь конопаткой. Затем проверяют ось визирования. Если труба уложена выше, чем требуется, ее осаживают, если ниже, то подбивают под трубу песчаный грунт либо уплотняют дно гравием или щебнем. Укладка труб на неуплотненный свеженасыпанный грунт не допускается, так как может произойти их осадка и будет нарушена прочность заделки стыка.

После повторной проверки правильности укладки трубы стыки заделывают, как описано в § 33.

Перед засыпкой траншеи правильность укладки труб проверяют на свет. Для этого в одном конце уложенного участка устанавливают источник света (фонарь), а в другом — зеркало, располагаемое под углом к оси трубы. В зеркале должен отразиться правильный световой диск (сечение трубы). Смещение светового диска вверх или вниз указывает на изогнутость оси труб в профиле по уклону; смещение диска вправо или влево указывает на изогнутость оси труб в плане.

После укладки труб набивают лотки смотровых колодцев. Затем собирают колодцы из сборных железобетонных элементов с помощью передвижного крана (см. § 35).

§ 40. УСТРОЙСТВО КОЛЛЕКТОРОВ ИЗ СБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОТКРЫТОМ И ЗАКРЫТОМ СПОСОБЕ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Укладка коллекторов из сборных готовых унифицированных элементов дает возможность механизировать и ускорять процесс строительства инженерного хозяйства городов.

При открытом способе производства работ сборку круглых коллекторов (см. рис. 3.19, *б*) ведут непрерывным потоком.

Начинают работы с подготовки и устройства основания. Дно траншеи подчищают, выравнивают, тщательно утрамбовывают гравием или щебнем под проектную отметку. На подготовку укладывают плиту или блоки основания, тщательно их центрируют и проверяют уклон. После проверки правильности укладки поднимают их краном, подливают цементный раствор марки 50 слоем 3 см, а затем окончательно устанавливают на место и тщательно заделывают стыки цементным раствором.

При сборке комбинированного коллектора на стул устанавливают сводчатое перекрытие. Продольные швы заливают цементным раствором марки 80, а с внешней стороны — горячим нефтебитумом. Поперечные стыки перекрытия тщательно заделывают просмоленным канатом и заливают цементным раствором марки 80, а сверху перекрывают бетонными поясками, выполненными в переносных металлических формах. Через каждые 32—36 м в основании и перекрытии коллектора делают температурные осадочные швы.

Монтаж сборных железобетонных коллекторов большого диаметра (см. рис. 3.19, *в* и *г*) начинают с укладки плиты и блоков основания на

выровненную бетонную или щебеночную подготовку. После выравнивания блоков под отметку пазы между блоками заливают цементным раствором, а затем краном или трубоукладчиком укладывают железобетонные трубы на подготовленное основание. Стыки заделывают железобетонными поясами или делают их гибкими (см. рис. 3.21).

Монтаж прямоугольных сборных железобетонных коллекторов производится следующим образом (см. рис. 3.19). На щебеночную подготовку укладывают железобетонную плиту, а затем один слой гидроизола на клебемассе и предохраняют его защитным слоем толщиной 3 см из цементного раствора марки 100. На выровненную поверхность защитного слоя устанавливают два стеновых блока ДС, а между ними — блок основания ДО, а затем, после замоноличивания блоков, сверху перекрывают блоком перекрытия ДП. В местах стыкования стеновых блоков делают гидравлическую шпонку из цементного раствора марки 100 на расширяющемся цементе. В торцах между стеновым блоком и перекрытием приваривают по дополнительному продольному стержню, а затем углы замоноличивают бетоном марки 200.

Два просвета между стеновыми блоками и основанием также замоноличивают бетоном марки 200, приварив по четыре продольных стержня в каждом просвете.

На перекрытие укладывают выравнивающий слой в 2—5 см из цементного раствора марки 50, закрывают его гидроизолирующим слоем гидроизола и закрывают защитным слоем из цементного раствора марки 100. Блоки устанавливают так, чтобы соединительные швы перекрытия и основания не совпадали со швами стеновых блоков.

Устройство швов, применяемых при укладке сборных железобетонных коллекторов, показано на рис. 3.36.

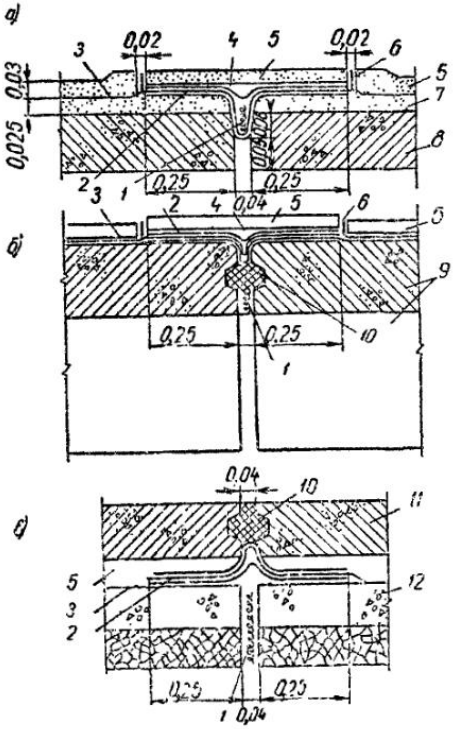


Рис. 3.36. Температурно-осадочные швы в сборных железобетонных коллекторах

а — перекрытия; *б* — стен; *в* — днища; *1* — просмоленный канат; *2* — три слоя гидроизола на нефтебитуме; *3, 4* — один слой гидроизола на нефтебитуме; *5* — защитный слой из цементного раствора марки 100; *6* — жгут из просмоленного каната; *7* — выравнивающий слой; *8* — блок перекрытия; *9* — стеновой блок; *10* — битумно-минеральная масса; *11* — блок основания; *12* — подготовка

К закрытым способам прокладки коллекторов относят подземные бестраншейные проходки методом горизонтального продавливания или прокола и туннельные проходки — штольневым и щитовым способом. Закрытый способ прокладки коллекторов создает наименьшие помехи нормальному функционированию городов и промышленных предприятий, а потому является перспективным.

При бестраншейной прокладке методом горизонтального продавливания или прокола в грунтах I и III категории продавливают металлическую толстостенную стальную трубу диаметром 900—1400 мм, предназначенную в качестве защитной стенки-футляра для прокладки трубопроводов при пересечении железных и автомобильных дорог, магистральных проездов и площадей и других препятствий в городском и промышленном строительстве. Продавливание футляра ведут из откры-

того рабочего котлована длиной 10 м со сплошным вертикальным креплением. В котловане устанавливают направляющие устройства для продавливания труб только в одном направлении; гидравлические домкраты горизонтального действия грузоподъемностью 100, 170 и 200 т для давления на торец стальных труб; упорную стенку для восприятия усилий домкратов; пульт управления и нажимные патрубки длиной 1, 2 и 3 м. Грунт в заборе разрабатывают механизмами и удаляют из трубы с помощью движущейся тележки с ковшом. После продавливания первой трубы в котлован опускают вторую и приваривают к торцам первой. Затем процесс повторяется. По окончании проходки в футляре монтируют сборные трубопроводы из металлических или железобетонных труб.

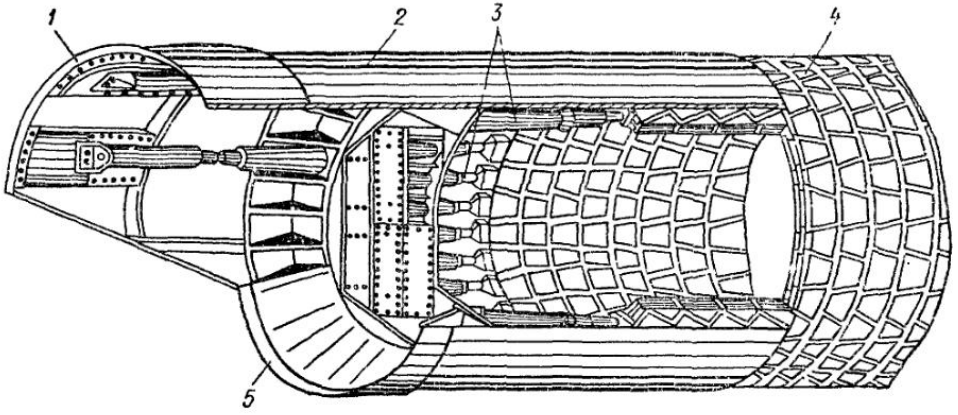


Рис. 3.37. Схема прокладки коллектора проходческим щитом

1 — козырек с ножом; *2* — опорная часть щита; *3* — домкраты; *4* — туннель из блоков-тюбингов; *5* — нож

Проходку методом продавливания труб диаметром 900 мм осуществляют универсальной механизированной установкой НИИМосстроя, состоящей из станины, гидродомкратов, лебедки, упорной стенки, насосной станции, пульта управления и нажимных труб. Суммарная установочная мощность двигателей 29,5 кВт, масса установки 12 т, техническая скорость проходки 18 м/смену, максимальная длина проходки с одной станции 60 м. Установку обслуживают три человека.

Механизированный комплекс ПУ-2 ЦНИИПодземмаша (Запорожье) обеспечивает разработку грунта I—III категории, полную механизацию процессов продавливания футляра и горизонтальное и вертикальное транспортирование породы. В состав комплекса входят исполнительный орган для разработки забоя и транспортирования породы по трубопроводу, скреперная лебедка 22ЛС-2с с электродвигателем мощностью 22 кВт, насосная установка с насосом Н-403 и электродвигателем мощностью 17 кВт, два продавливающих гидроцилиндра суммарным усилием 3600 кН, а также упорная плита, две нажимные подушки и нажимные патрубки. Суммарная установочная мощность двигателей 39 кВт, масса комплекса 13,6 т, наружный диаметр продавливаемого трубопровода 1220 и 1420 мм, максимальная длина проходки из одного котлована 60 м, средняя скорость проходки 8,4 м/смену. Направление и уклоны футляра проверяют уклономерами. Установку обслуживают три человека.

Щитовой способ прокладки коллекторов является наиболее индустриальным и экономичным способом строительства коллекторов в условиях городского и промышленного строительства. При этом объем земляных работ сокращается в 2,5—3 раза, скорость проходки увеличивается в 4 раза, а расход крепежного материала уменьшается в 20 раз по

сравнению со штольневым способом. Способ щитовой проходки экономически целесообразен с глубины заложения 6 м. Его применяют в Москве, Ленинграде, Киеве, Харькове, Львове, Минске, Риге, Таллине, Вильнюсе, Новосибирске и других городах. В 1970 г. проходческими щитами построено в СССР 70 км коллекторных туннелей, а в 1975 г. их будет построено 120 км и более 100 км стальных трубопроводов большого диаметра.

Проходческий щит представляет собой передвижную металлическую конструкцию цилиндрической формы, под защитой которой разрабатывается порода, а в задней хвостовой части сооружается обделка туннеля (рис. 3.37). Щит состоит из режущей, опорной и хвостовой частей. Средняя часть щита является опорной для размещения гидравлических домкратов, с помощью которых происходит продвижение щита, и системы гидрокоммуникаций для управления домкратами.

Процесс работы в щите слагается из следующих операций: разработки грунта в забое, передвижения щита, устройства обделки в хвостовой части и нагнетания цементного раствора за собранную обделку. Одновременно ведутся выдача грунта из забоя и откатка его в шахту с подъемом на поверхность, а также доставка к щиту сборных элементов обделки. Наиболее трудоемкой и сложной операцией является разработка грунта.

Для комплексной механизации проходческих работ и строительства унифицированных коллекторных туннелей ЦНИИПодземмаш разработал пять типов механизированных щитов ПЩ и комплексов КЩ, предназначенных для прокладки канализационных и инженерных сетей в городах и на предприятиях (табл. 3. 12 и 3.13).

Таблица 312

Техническая характеристика проходческих щитов

Проходческий щит		Наружный диаметр щита, м	Длина щита без козырька, м, не более	Диаметр туннеля в свету, мм	Производительность щита, м/ч, не менее	Объем сборного железобетона, м³/м	Масса щита, т, не более	
механизированный	частично механизированный						механизированного	частично механизированного
ПЩМ-2,1	ПЩ-2,1	2,1	3,3	1800	0,8	0,91	18	12
ПЩМ-2,6	ПЩ-2,6	2,6	3,9	2250	0,8	1,3	25	18
ПЩМ-3,2	ПЩ-3,2	3,2	4,8	2800	0,8	1,85	45	35
ПЩМ-4	ПЩ-4	4,03	5,4	3550	1	2,6	90	60
—	ПЩ-5,2	5,2	5,8	4500	1	5,35	—	90
ПЩМ-5,6	—	5,63	6	4830	1	6,43	280	—

Проходческие щиты и механизированные щитовые комплексы предназначены для разработки грунтов I—IV категории влажностью до 20% в сложных гидрогеологических условиях.

Щитовые комплексы КЩ состоят из механизированного проходческого щита, передвижной технологической платформы с рольгангом, блокоукладчиками, ленточного конвейера с блокосъемником, блоковозками, транспортными бадьями и тележками для породы. Минимальная длина КЩ-1,8К — 8,1 м, а КЩ-3,2Б — 26,8 м Применение комплекса КЩ позволяет механизировать все производственные процессы по разработке и погрузке породы, а также по возведению постоянной железобетонной обделки (футеровки) туннеля.

Забой разрабатывается винтовой разборной планшайбой с ножами или резцами, которая вращается четырьмя гидравлическими домкратами с храповым механизмом.

Таблица 3.13

Техническая характеристика проходческих механизированных щитовых комплексов

Проходческий механизированный щитовой комплекс	Диаметр сооружаемого туннеля, мм		Производительность комплекса, м/ч	Ход штока, мм	Производительность, м³/ч		Крепление выработки	Количество блоков в кольце	Ширина блока, мм	Установочная суммарная мощность электродвигателей, кВт	Масса, т	
	в проходке	в свету			скребкового питателя	ленточного конвейера					комплекса	щита (без электродвигателей)
КЩ-1,8К	2100	1800	1	900	18	20	Кольцевое из железобетонных блоков	1	1500	48	40	15,5
КЩ-2,1М	2100	1750	0,8	900	18	20	Монолитный прессованный бетон			24	35	15,5
КЩ-2,1Б	2100	1800	1	900	18	20	Сборное железобетонное крупноблочное	6	700	24	25,4	15,5
КЩ-2,6Б	2600	2250	1,5	900	30	35	То же	6	700	43	40	25
КЩ-3,2Б	3200	2800	1,2	950	40—90	До 120	»	6	800	98,5	53	36
КЩ-3,2БР	3200	2800	1,2	950	До 100	до 120	»	6	800	187,5	56	49

Туннель футеруют укрупненными сегментными блоками-тюбингами из железобетона марки 400.

Для сооружения туннелей с кольцевой обделкой шириной 1500 мм (см. табл. 3.13) применяют комплекс КЩ-1,8К. За собранную обделку нагнетают цементный раствор для заполнения пустот. Внутри туннеля устраивают рубашку из монолитного железобетона марки 400 (см. рис. 3.19, *е*). На устройство рубашки требуется $^1/_3$ времени, затрачиваемого на щитовую проходку. Поэтому осваивают обделку туннелей из монолитного прессованного бетона, при этом достигаются бесшовность и безосадочность проходки.

Футеровку из монолитного прессованного бетона формуют щитовым комплексом КЩ-2,1М (см. табл. 3.13). Бетонную смесь нагнетают за цилиндрический корпус щита, а при продвижении щита ее прессуют гидравлическими домкратами. В каналах из прессованного бетона устройство железобетонной рубашки и инъекция раствора за обделку не требуются.

Из прессованного бетона построен коллектор диаметром 3,6 м для реки Неглинки (в Москве). Скорость проходки составляла 100 м в месяц.

Для крепления стенок коллекторов монолитным бетоном способом набрызга или укладки бетонной смеси за опалубку рекомендуется применять машину БМ-70, а для торкретирования способом центробежной футеровки и ее затирки — затирочную машину АКХ.

Основной частью машины БМ-70 является смонтированный на платформе дозатор барабанного типа, имеющий поворотное загрузочное устройство грейферного типа. Из вагонетки сухая бетонная смесь гидравлическим грейфером загружается в бункер машины. Через загрузочные проемы в крышке дозатора материал заполняет ячейки барабана.

При вращении барабан с ячейками подводится к разгрузочному устройству, где материал под действием силы тяжести, а также под давлением сжатого воздуха выдувается вниз в выходной патрубок. Далее струей сжатого воздуха смесь подхватывается и транспортируется по гибким рукавам к соплу, где происходит затворение смеси водой.

Производительность машины по сухой бетонной смеси для укладки монолита за опалубку 10—12 м³/ч, а для набрызга 5—6 м³/ч; максимальная фракция заполнителей смеси для монолита 40 мм, а для набрызга 30 мм; дальность подачи по горизонтали 200 м, а по вертикали 50 м. Общая установочная мощность 15 кВт; давление в гидросмеси 8 МПа, размеры: длина 3400 мм, ширина 1080 мм, высота в рабочем положении 2300 мм, а в транспортном 1630 мм; масса машины 4,5 т.

Для укладки прессованного бетона рекомендуется применение быстротвердеющих цементов и бетонов повышенной растяжимости за счет введения в их состав волокнистых материалов типа асбеста.

Торкретирование блочных туннелей способом центробежной футеровки и затирка машиной АКХ ускоряет процесс в 5 раз по сравнению с устройством железобетонной рубашки. Раствор из бункера машины шнеком подается в напорную трубу и, выдавливаясь через продольные щели, попадает на лопатки разбрызгивающей головки, которая, вращаясь с большой скоростью, набрызгивает раствор на внутреннюю поверхность крепи слоем 20—25 мм. При устройстве торкрета большей толщины наносят несколько слоев с суточной выдержкой каждого слоя. Последний слой заглаживается медленно вращающимися лопатками затирочной машины, перемещающейся с помощью лебедки.

Производительность по торкретированию 2 м³/ч, средняя скорость отделки туннеля 25—30 м/смену, дальность подачи раствора 100 м, суммарная мощность двигателей 4,5 кВт, габариты машины 2500×700×1500 мм, масса 600 кг.

Для немеханизированных щитов прежних конструкций диаметром 2,56 м рекомендуется горнопроходческий комплекс вертикального и горизонтального транспорта, состоящий из подземной части и поверхностной шахтной надстройки. Подземная часть состоит из ленточного питателя, перегружателя, двух блоковозов с рольгангом, подвижной технологической платформы, электровоза АК-2у и лебедки. Шахтная надстройка состоит из копра, бокового гидравлического опрокидывателя, двух транспортообменников и двух рельсовых откаточных путей. Технология комплекса позволяет работать не снижая скорости на трассе длиной до 1 км.

Для опускания и подъема щитов, а также для подъема грунта и подачи тюбингов, растворов и воздуха устраивают шахты горнопроходческим механизированным комплексом «Темп-1» или «Темп-2». Комплекс «Темп-2» состоит из грейфера; аварийного бункера емкостью 12 м³ с пластинчатым питателем, подающим породу через ленточный перегружатель в автомашины; инвентарной крепи из металлических колец; автокрана К-104 и электрооборудования.

Диаметр ствола шахты в проходке 4,3 м, в свету 4 м, глубина до 12 м, скорость проходки 0,8 м/смену, установочная суммарная мощность электродвигателей 13 кВт, масса оборудования 19 т. Бригада состоит из четырех человек.

Для проходки стволов шахт применяется также шахтопроходческий экскаватор ЭШ-1514, созданный на базе элементов экскаватора типа «Беларусь», а для подъема разработанного грунта — кран СПК-1000.

Для искусственного замораживания водоносных грунтов рекомендуется передвижная низкотемпературная замораживающая станция ПНС-100, изготовляемая заводом «Компрессор» и смонтированная на двух автоприцепах МАЗ-52224. Установка дает низкотемпературное охлаждение минус 32—37° С через сутки после доставки на место.

Внедрение новой техники ведения работ щитовым способом позволило повысить объем строительства коллекторов закрытым способом на 45%, выработку на один щит на 39,5%, а на одного рабочего на 50%.

§ 41. УСТРОЙСТВО ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

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

Анализы, проведенные в различных городах, указывают 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 боковых стенках 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

$$2H_2S + 3O_2 = 2SO_2 + 2H_2O; \qquad (3.46)$$

при недостатке кислорода

$$2H_2S + O_2 = 2S + 2H_2O. \qquad (3.47)$$

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

$$2S + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4. \qquad (3.48)$$

Одной из составных частей цемента является оксид кальция CaO, который после затворения водой и гидратации переходит в гидроксид кальция $Ca(OH)_2$. Воздействие на бетон серной кислоты 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 2 раза против объема гидроксида кальция $Ca(OH)_2$, и сульфоалюминат кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 30H_2O$, увеличивающийся в объеме в 22,5 раза. Этот вид коррозии наиболее распространен в канализационных каналах.

Если в воде имеется избыточный агрессивный диоксид углерода CO_2, то при его химическом взаимодействии с гидроксидом кальция $Ca(OH)_2$ образуется малорастворимый в воде углекислый кальций $CaCO_3$, а при его дальнейшем взаимодействии с диоксидом углерода — легкорастворимый двууглекислый кальций $Ca(HCO_3)_2$. 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 умень-

шение 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 канализационной 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 канализационной сети с естественной тягой через вытяжные стояки, установленные в зданиях и выведенные выше крыши здания (см. рис. 1.1).

Опыт эксплуатации канализационной 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 канализационных 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 канализационных колодцев 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.

§ 42. ЗАЩИТА ТРУБОПРОВОДОВ ОТ АГРЕССИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВ, СТОЧНЫХ И ГРУНТОВЫХ ВОД

В условиях эксплуатации канализационная 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 изготовляют 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 бетонным изделиям.

Наиболее высокое качество труб достигается при центрифугировании бетона и гидропрессовании с вибрированием (ГОСТ 16953—71 и 12586—67). При центрифугировании происходят процесс отжатия свободной воды и воздуха и равномерное распределение бетона вследствие перераспределения частиц цемента и заполнителей.

Защитная изоляция внутренних и внешних поверхностей канализационных труб может быть жесткой или пластичной, и наносят ее со стороны действия воды или газа[1].

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 клебемассы 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 ПХВ навивается на поверхность трубопроводов с помощью механизмов. При прокладке дюкеров и переходов полимерная лента надежно защищает трубы от механических повреждений.

§ 43. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ

Все трубопроводы перед засыпкой и сдачей в эксплуатацию проверяют на герметичность гидравлическим испытанием.

Проникание грунтовых вод в канализационную сеть через стенки труб и стыки называют *инфильтрацией*, обратное же явление, т. е. проникание сточных вод из труб в грунт, — *эксфильтрацией*. Инфильтрация может происходить при укладке труб ниже уровня грунтовых вод, эксфильтрация — при укладке труб выше уровня грунтовых вод.

Инфильтрация происходит главным образом через плохо заделанные стыки труб и сборных железобетонных элементов, через стенки пористых бетонных труб или колодцев, изготовленных из неплотного бетона. При инфильтрации сеть заполняется грунтовыми водами, осложняется работа насосных и очистных станций вследствие излишнего притока сточных вод, происходят просадка и разрушение трубопроводов.

Эксфильтрация является показателем плохого качества заделки стыков и, как правило, не допускается по техническим и санитарным условиям. Эксфильтрация способствует разжижению суглинистых и просадочных грунтов под трубами, понижает их несущую способность, приводит к просадке труб и разрушению стыков, вызывая аварии, а также ведет к загрязнению почвы и грунтовых вод. В хорошо построенной сети не должно быть ни инфильтрации, ни эксфильтрации.

Плотность заделки стыков канализационных самотечных трубопроводов, а также сопряжение этих трубопроводов с колодцами проверяют:

а) в мокрых грунтах — на поступление воды в трубопровод при естественном горизонте грунтовых вод; при уровне грунтовых вод на

[1] СН 262-67 Указания по проектированию антикоррозионной защиты строительных конструкций.

2—4 м над шелыгой трубы поступление воды не должно превышать значений, указанных в табл. 3.14, а при уровне грунтовых вод более 4 м над шелыгой трубы допускаемое поступление воды увеличивается на 10% на каждый добавочный метр напора;

б) в сухих грунтах — на утечку воды из трубопровода; для этого испытания участок трубопровода между колодцами наполняется водой до высоты 4 м над шелыгой трубы в верхнем колодце; утечка не должна превышать значений, указанных в табл. 3.14;

в) в мокрых грунтах при уровне грунтовых вод менее 2 м над шелыгой трубы — на утечку воды из трубопровода; испытание производят так же, как указано в предыдущем пункте.

Таблица 3.14

Допускаемое поступление или утечка воды через стыки и стенки самотечных трубопроводов, м³/сутки на 1 км трубопровода

Трубы	Допускаемые значения при диаметре труб, мм										
	до 150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500
Керамические . .	7	12	15	18	21	23	23	—	—	—	—
Асбестоцементные	7	20	24	28	32	36	40	—	—	—	—
Бетонные и железобетонные . . .	—	—	—	28	32	36	40	48	56	64	76

Сеть проверяют на водонепроницаемость (рис. 3.38) до засыпки труб в траншеях: в мокрых грунтах — замером притока грунтовой воды на водосливе, установленном в лотке нижнего колодца, а в сухих грунтах — двумя способами.

По первому способу испытывают одновременно два смежных интервала сети с тремя смотровыми колодцами. В конечных колодцах устанавливают заглушки, а через средний колодец наполняют систему водой до определенной отметки. Затем производят наружный осмотр стыков на утечку и поддерживают постоянный уровень воды в колодце в течение 30 мин.

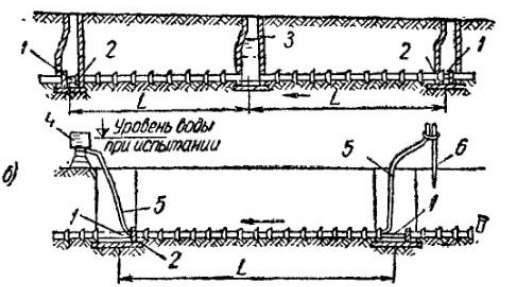


Рис. 3.38. Схема гидравлического испытания канализационных сетей

а — после устройства колодцев; *б* — до устройства колодцев; *1* — распорка; *2* — заглушка; *3* — уровень воды при испытании; *4* — переносный бак; *5* — шланги; *6* — опора для крепления шланга

Эксфильтрацию определяют по количеству долитой воды в течение 30 мин и по ее пересчету на 1 км/сутки. Утечка воды не должна превышать установленных норм, приведенных в табл. 3.14. Места утечки устанавливают непосредственным осмотром уложенной линии. Стык, давший течь, расчищают, просушивают паяльной лампой и заделывают вновь. Асфальтовые стыки с незначительной утечкой исправляют, разогревая их паяльной лампой. После исправления дефектов линию подвергают вторичному испытанию. В качестве заглушек на концах труб применяют резиновые надувные камеры, закрепленные снаружи во избежание их выпирания.

По второму способу испытания производят на одном интервале до устройства колодцев. Концы трубопровода закрывают заглушками с быстросоединяющимися гайками, к которым присоединяют два резиновых шланга — для наполнения водой и выпуска воздуха. Нижнюю заглушку соединяют шлангом с переносным металлическим баком, уста-

новленным на высоте 4 м над лотком трубы. Трубы заполняют водой через бак, и по рейке устанавливают необходимый уровень в нем воды. По мере снижения уровня воды в баке доливают замеренное количество воды до прежнего уровня. По количеству долитой воды в течение 30 мин определяют суточную утечку в пересчете на 1 км сети.

Крупные коллекторы диаметром более 1000 мм, проходящие по незастроенной территории, разрешается (при затруднениях с доставкой воды) испытывать выборочно на одном участке. Фильтрацию воды через стенки и днище колодца на 1 м его глубины принимают такой же, как на 1 м длины труб, равновеликих по площади живого сечения.

Испытание напорных трубопроводов, дюкеров и переходов на герметичность производится до засыпки трубопровода участками не более 1 км.

Стальные трубопроводы испытывают на давление не менее чем на 1 МПа, а подводную часть дюкеров из стальных труб — на давление 1,2 МПа. Чугунные трубопроводы испытываются на рабочее давление плюс 0,5 МПа. Асбестоцементные трубы марки ВТ6 испытываются на давление, превышающее рабочее на 0,3 МПа, а трубы марки ВТ3 — на 0,15 МПа.

Герметичность напорных и самотечных трубопроводов проверяют через 1—3 суток после заполнения водой. Продолжительность испытания трубопроводов составляет не менее 30 мин. Напорные и самотечные трубопроводы можно испытывать с помощью сжатого воздуха.

§ 44. УСТРОЙСТВО КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ

Районы с просадочными грунтами. Просадочные грунты широко распространены на значительной территории европейской части СССР, 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 канализационной 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 канализационную 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 (§ 25).

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 приямков 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—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, имеющих сток в водосборный колодец (см. рис. 3.13).

Трубопроводы, проложенные в просадочных грунтах, обязательно 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 СССР. Под оползнями понимают медленное или внезапное сползание толщи 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 проек-

тировании и строительстве канализации нужно предусматривать специальные мероприятия:

1) проектирование полной раздельной системы канализации;

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 канализации 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 (НИИСП Госстроя УССР).

Для объектов, размещаемых на подрабатываемых территориях, проектирование общесплавных систем канализации не допускается. Проекты необходимо согласовывать с местными органами Госгортехнадзора и организациями, эксплуатирующими месторождения.

Сейсмические районы. К сейсмическим районам относятся Карпаты, Молдавия, Крым, Кавказ, Средняя Азия, юг Западной Сибири и Дальневосточный край с Камчаткой и Сахалином. Строительство в сейсмических районах производят в соответствии с требованиями СНиП II-А.12-69. Землетрясения принято измерять по 10-балльной системе, 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 канализационных трубопроводов и сооружений.

Эти мероприятия сводятся к следующему:

1) применять по возможности децентрализованные системы канализации и давать предпочтение методам очистки сточных вод в естественных условиях (см. гл. XIX), 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 канализации 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;

6) соединять трубы гибкими стыками с эластичными заполнителями, обеспечивающими возможность упругих перемещений; не допускать жесткого закрепления труб в стенках смотровых колодцев, камер, резервуаров и стенах 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 канализационных сетей в районах долголетней мерзлоты заключается в устранении тепловыделений в окружающий грунт и предохранении сточных вод от замерзания в трубопроводах. Конструкции канализационных 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 канализационных сетей реко-

мендуется применять: неполную раздельную систему канализации 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 канализационных 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 II-Б.6-66.

Глава XI

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

§ 45. ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Основная задача службы эксплуатации — правильное использование всех канализационных сооружений и обеспечение их нормальной безаварийной работы при высоких экономических, технических и санитарных показателях в соответствии с «Правилами технической эксплуатации водопроводов и канализации», утверждаемыми министерствами коммунального хозяйства союзных республик.

Эксплуатацию канализационных сооружений осуществляют управления, тресты или отделы. В зависимости от размеров канализационного хозяйства создаются службы сети, насосных станций (при наличии нескольких) и очистных сооружений. При управлениях организуют центральный диспетчерский пункт, а при службах сети — местный диспетчерский пункт с круглосуточным дежурством.

Для эксплуатации наружной канализационной сети организуются районные эксплуатационные участки. В крупных городах участок обслуживает сеть протяженностью 100—150 км, в средних городах — до 50 км, а в небольших городах, поселках и на промышленных предприятиях — до 20 км.

Внутренние канализации жилых зданий и дворовые сети обслуживают домоуправления, а заводские — промышленные предприятия.

Число рабочих и служащих исчисляют в среднем по одному человеку: на 1,5—2 км сети для крупных и на 1,2—1,5 км для мелких кана-

лизационных участков. Из этого числа производственные рабочие составляют ориентировочно до 65%, инженерно-технические работники — до 10%, служащие и младший обслуживающий персонал — до 25%. Примерно $^1/_3$ рабочих занята профилактической прочисткой сети, $^1/_3$ — удалением засорений и $^1/_3$ — ремонтом и наблюдением за сетью.

Примерная схема организации крупного эксплуатационного участка представлена на рис. 3.39.

В обязанности эксплуатационного участка канализационной сети входит: а) приемка канализационной сети в эксплуатацию и технический контроль за строительством канализационной сети и сооружений на ней; б) наблюдение за работой и состоянием канализационной сети и сетевых сооружений (соединительных камер, дюкеров, эстакад, аварий-

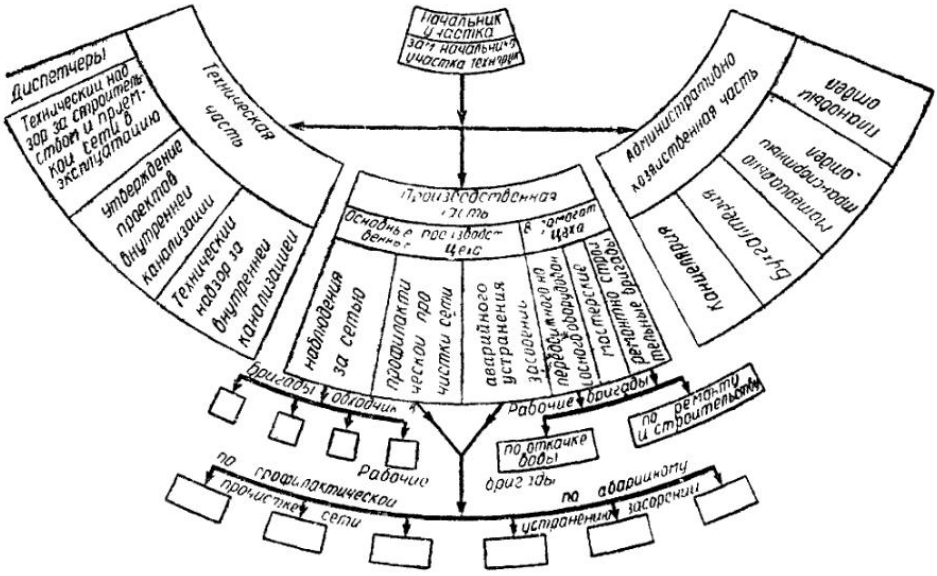


Рис 3.39 Схема организации эксплуатационного участка канализационной сети

ных выпусков и переливов, вентиляционных устройств и др.); в) профилактическая промывка и прочистка сети; г) устранение аварийных засорений; д) текущий и капитальный ремонт сети; е) ликвидация аварий; ж) проведение мероприятий по предохранению канализационной сети и подвалов зданий от затоплений и обеспечение ее работы в период весенних паводков; з) рассмотрение и утверждение проектов внутренней канализации зданий; и) контроль за монтажом, вводом в действие, техническим состоянием и правильной эксплуатацией внутренних канализаций зданий; к) изучение работы сети, составление планов развития и реконструкции сети; л) разработка и проведение мероприятий по охране труда рабочих, занятых на эксплуатации сети; м) ведение технической документации (исполнительных чертежей, документов приемочных комиссий, планшетов сети, технических паспортов) и отчетности.

Технический паспорт является основным документом для глубокого изучения и характеристики работы отдельных участков канализационной сети. В паспорте нанесена схема сети с указанием длин, диаметров, уклонов и боковых присоединений, установлена категория сети по трудности эксплуатации; в нем указывают наполнение в трубах по годам и записывают даты технических осмотров, профилактических прочисток и устранения засорений[1].

[1] Форму паспорта см в «Правилах технической эксплуатации водопроводов и канализаций». М, Стройиздат, 1965.

Таблица 3.15

Категория канализационной сети по трудности эксплуатации

Техническое состояние сети	Категория сети при степени наполнения труб в часы максимального притока			
	более 0,25d	менее 0,25d	подпор с низовой стороны	переполнение с верховой стороны
Трубы, уложенные с уклонами:				
более минимальных . . .	I	II	III	I
менее минимальных . . .	II	III	IV	I
Трубы с техническими дефектами в уклонах (горизонтальные участки, обратные уклоны, просадки труб)	III	IV	IV	II

Канализационную сеть разбивают по категориям в соответствии с ее техническим состоянием и режимом работы (табл. 3.15), что дает возможность выделить из общей схемы наиболее неблагоприятные по гидравлическим условиям участки и организовать особо тщательный уход за ними. Категории отдельных участков сети с изменением режима работы периодически пересматривают.

§ 46. ПРИЕМКА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Строительство городских канализационных сетей ведется за счет средств местных Советов депутатов трудящихся, министерств и ведомств. Во всех случаях служба эксплуатации осуществляет технический контроль за производством строительных работ в соответствии с действующими правилами на строительство и приемку общестроительных и специальных работ, а также принимает сооружения в эксплуатацию.

Контроль осуществляется: а) за точным выполнением строительных работ по проекту и правильной разбивкой трассы; б) за качеством применяемых материалов и качеством строительных и монтажных работ; в) за качественным выполнением скрытых работ — подготовки основания под трубы и колодцы, укладки труб, заделки стыков, испытания на герметичность, засыпки траншей, за соблюдением уклонов с периодической проверкой нивелирных отметок.

Все вновь построенные канализационные сети принимаются в эксплуатацию приемочной комиссией, которая сверяет исполнительную и техническую документацию с проектной, выявляет допущенные в процессе строительства отступления от утвержденного проекта, проверяет наличие на них документов, производит осмотр сооружений в натуре и выносит свое решение. При наличии дефектов или недоделок комиссия устанавливает сроки их устранения. После устранения дефектов комиссия подписывает акт, и сооружения вводят в эксплуатацию.

Исполнительные чертежи по сети представляются в виде плана с привязками колодцев (см. рис. 3.17) и профиля коллектора, выполненного на основании геодезической съемки, в масштабе горизонтальном 1 : 500 и вертикальном 1 : 50.

§ 47. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТЬЮ

При соблюдении правил пользования канализацией исключается возникновение аварий на сети и нарушение нормального режима эксплуатации. Для обеспечения нормальной эксплуатации канализационной сети систематически производят наружный и технический осмотры.

Наружный осмотр заключается в проверке состояния колодцев, целости крышек, уровня сточных вод в лотках, наличия в колодцах грязи и мусора, повреждений на сети и просадки грунта на трассе, разрытий на трассе, незаконных присоединений, завала колодцев грунтом или снегом, спуска в колодцы поверхностных вод. Бригада по осмотру сети состоит из двух рабочих 6-го и 4-го разряда; в колодцы они не спускаются.

Технический осмотр производят для выявления технического состояния сети и гидравлических условий ее работы.

При техническом осмотре рабочие спускаются в колодцы, тщательно обследуют сеть и проходные каналы, проверяют действие оборудования и ликвидируют мелкие неисправности. Они выявляют повреждения на сети и в колодцах, степень наполнения труб, необходимость профилактической прочистки сети, поступление в сеть поверхностных или грунтовых вод, а также вод, спуск которых запрещен (горячие воды с температурой выше 40° С и воды, содержащие бензин, нефть, масла, жир). Технический осмотр сети ведут мастер и двое рабочих. Данные осмотра заносят в журнал и составляют дефектную ведомость на производство текущего и капитального ремонтов. Осмотр проходных коллекторов проводит бригада в составе пяти—семи человек.

Периодичность наружного и технического осмотров производится в соответствии с «Положением о проведении планово-предупредительного ремонта водопроводно-канализационных сооружений» Госстроя СССР (М., Стройиздат, 1968).

§ 48. ПРОЧИСТКА КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

Для сохранения расчетной пропускной способности труб и коллекторов применяют профилактическую и аварийную прочистку канализационной сети от осевших в ней осадков.

Профилактическую прочистку канализационной сети производят регулярно, не реже одного раза в год; сети III и IV категории прочищают два — четыре раза в год, при этом слой осадков в сети не допускается более чем на $^1/_3$—$^1/_4$ диаметра труб. Профилактическая прочистка производится механическим и гидродинамическим способами по бассейнам канализования начиная с верхних участков и боковых линий.

Механическая прочистка производится путем протаскивания по трубам с помощью лебедок снарядов, разрыхляющих и сгребающих осадок к колодцу (ершов, дисков, совков), и подъемом осадка на поверхность с последующим вывозом на свалку. Этот трудоемкий ручной процесс Ленинградское управление водоканализации совместно с АКХ заменило механизированным с применением самоходных и передвижных лебедок и ковшей с раскрывающимися створками (рис. 3.40).

Ковш перемещается в трубах с помощью двух лебедок, установленных у двух смежных колодцев. Одна из лебедок имеет кран-укосину для подъема ковша и его опорожнения. При натяжении троса лебедкой *Б* и свободном тросе лебедки *А* створки ковша раскрываются. После наполнения ковша осадком с помощью троса лебедки *А* створки закрываются и ковш выводится обратно в смотровой колодец, а затем поднимается на поверхность земли. Кран-укосина перемещается от люка колодца, створки ковша открываются и осадок выгружается в контейнер.

Без перестановки лебедок можно прочищать участок коллектора длиной до 150 м.

Ковш с раскрывающимися створками выполняют из листовой стали толщиной 3—4 мм Вместимость ковша 14—100 л, длина 450—830 мм, диаметр на 100 мм меньше диаметра прочищаемой трубы

Для ввода ковша в трубу в колодце устанавливают направляющий съемный подшелыжный блок.

Гидродинамический способ прочистки труб основан на размывающей и транспортирующей способности потока воды при повышенных скоро-

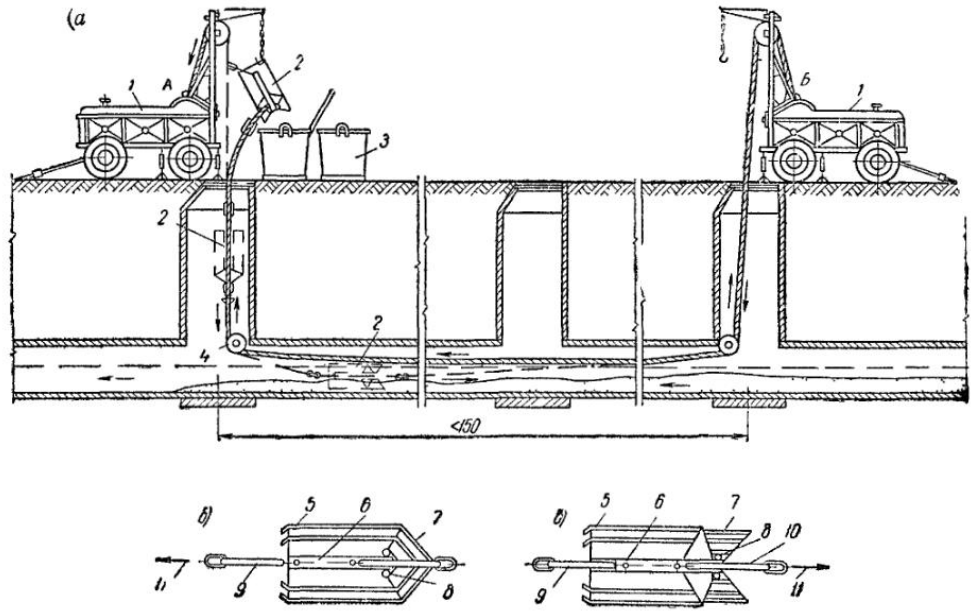


Рис 3 40 Механическая прочистка сети с помощью лебедок и ковша с раскрывающимися створками

а — схема прочистки, *б* — ковш с закрытыми створками, *в* — ковш с открытыми створками, *1* — моторные лебедки с краном укосиной, *2* — ковш, *3* — контейнеры на катках, *4* — подшелыжный съемный блок, *5* — корпус ковша, *6* — боковая планка, *7* — створки, *8* — петли для соединения створок, *9, 10* — передняя и задняя скобы, *11* — направление движения тросов к лебедкам

стях ее движения. Скорость потока, м/с, размывающую осадок, по исследованиям ЛИСИ, можно определить по формуле

$$v_{\text{р}} = 9{,}34 \frac{\omega}{\Delta_{\text{э}}^{1/6}} \sqrt[n]{R}\,, \qquad (3.49)$$

где ω — гидравлическая крупность размываемого осадка, м/с;

$\Delta_{\text{э}}$ — эквивалентная абсолютная шероховатость, м,

R — гидравлический радиус, м;

$n = 3{,}5 + 0{,}5R$.

Повышенные скорости в трубах создают залповым пропуском повышенного расхода сточной, водопроводной или привозной воды либо пропуском по ним снарядов гидродинамического действия. Промывка труб малого диаметра достигается при подаче расхода воды до 5 л/с под давлением 0,6—0,8 МПа от гидранта или от поливочной машины через шланг с насадкой в виде брандспойта, введенного в трубу (рис. 3 41).

Высокий эффект гидродинамической прочистки канализационной сети достигается с помощью плавающих резиновых и металлических шаров или деревянных цилиндров, перекрывающих верхнюю часть сечения трубы. Плавающие снаряды под действием создаваемого ими давле-

ния продвигаются в трубе, а вода вытекает через нижнее суженное сечение со скоростью до 5—7 м/с и размывает образовавшиеся отложения (рис. 3.42). Скорость движения снаряда регулируется с помощью удерживающего троса.

Резиновые надувные шары и диски рекомендуют для прочистки труб диаметром до 600 мм, а деревянные полые цилиндры и металлические шары — для труб диаметром более 450 мм. Диаметр снарядов состав-

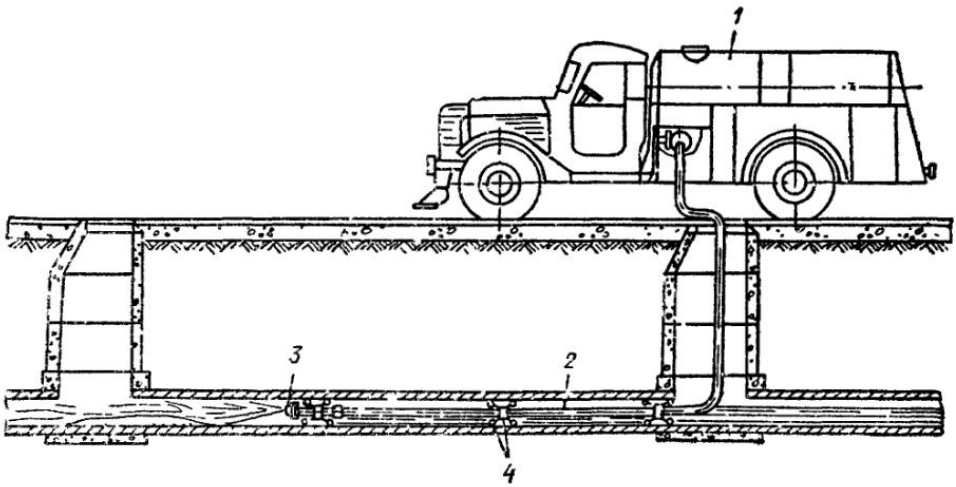


Рис 3.41 Профилактическая промывка канализационной сети

1 — поливомоечная машина, *2* — шланг, *3* — насадка, *4* — тележка с роликами

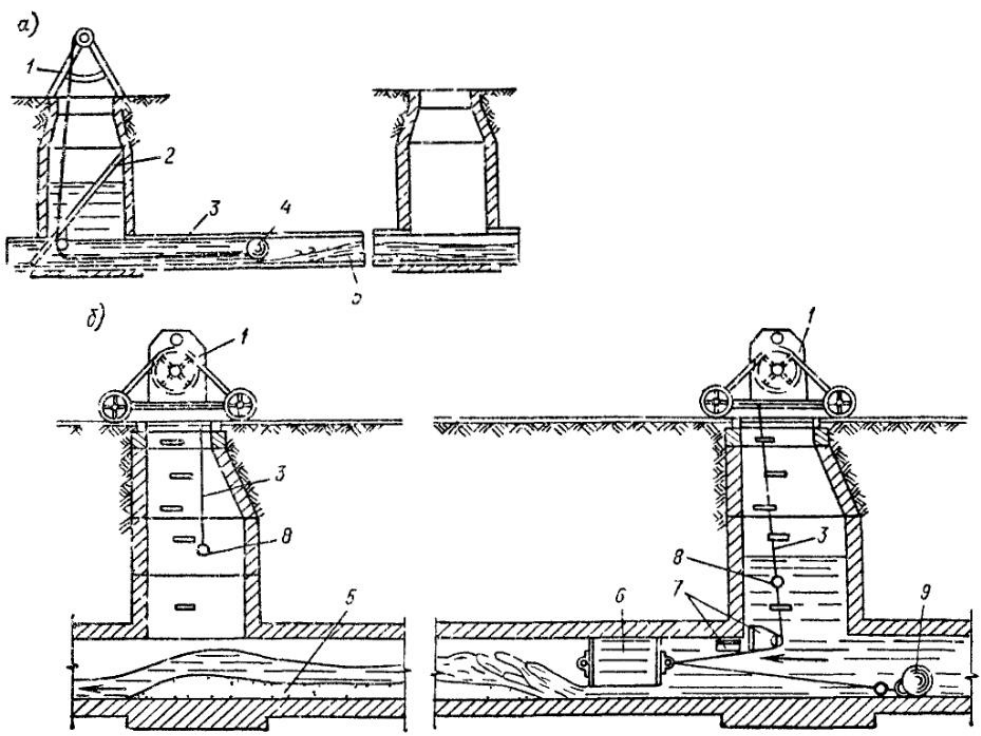


Рис 3.42 Профилактическая прочистка канализационной сети

а — резиновым шаром *б* — деревянным цилиндром *1* — лебедка, *2* — металлический переносный блок, *3* — трос, *4* — шар, *5* — осадок, *6* — цилиндр, *7* — подвесной (подшелыжный) блок, *8* — кольцо для соединения тросов, *9* — груз

ляет 0,8—0,9 диаметра прочищаемой трубы, а длина дисков и цилиндров — 0,6—0,7 диаметра трубы.

Надувные камеры шаров защищают сверху прочными покрышками из резины или брезента с поясом из корда, а также сеткой из веревки или проволоки. Парные диски или цилиндры с резиновыми ребрами закреплены на стержне; каждый из них состоит из двух круглых листов стали толщиной 2,5 мм, между которыми закреплено резиновое кольцо диаметром, равным диаметру прочищаемой трубы. Деревянные полые цилиндры изготовляют из клепок толщиной 40—50 мм.

Для прочистки круглых коллекторов большого диаметра применяют полые металлические шары с отверстиями для частичного наполнения

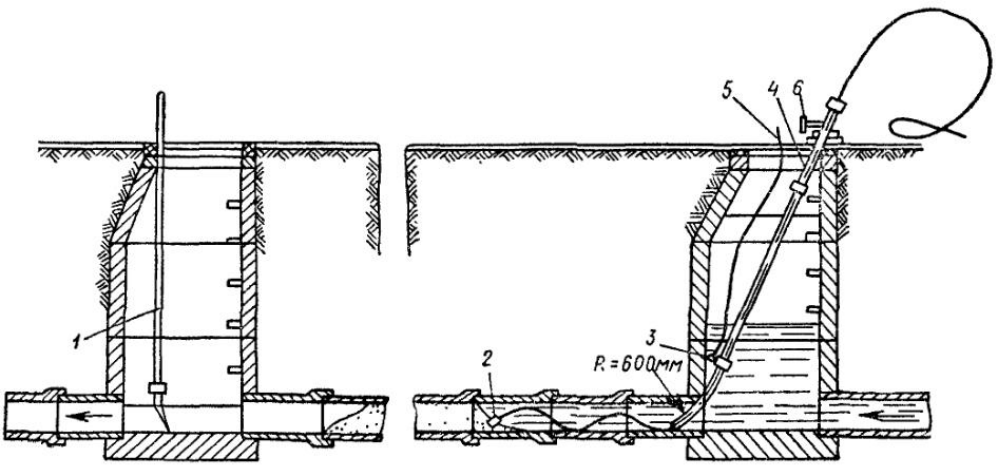


Рис. 3.43. Прочистка канализационной сети проволокой

1 — вилы; *2* — проволока с наконечником; *3* — хомут для прикрепления троса; *4* — направляющая труба диаметром 50 мм; *5* — трос; *6* — винтовой зажим для закрепления направляющей трубы

их сточной жидкостью (для облегчения заправки шаров в трубу и сохранения их плавучести).

Шары и цилиндры крупных диаметров рекомендуется опускать в канал на двух тросах с помощью лебедок со съемным краном (см. рис. 3.42). К одному тросу прикрепляют рабочий трос от лебедки, установленной над колодцем, а к другому — гирю массой 10—20 кг. Когда шар пройдет нижний колодец, рабочие ловят трос с гирей и прикрепляют его к лебедке нижнего колодца, а первый трос отсоединяют от лебедки верхнего колодца и прикрепляют к нему гирю. Лебедки применяют трех видов: легкие складные грузоподъемностью до 0,3 т с тросами диаметром 5—6 мм при прочистке канализационной сети диаметром до 300 мм; грузоподъемностью 0,5 т с тросами диаметром 8—12 мм при прочистке сети диаметром 350—600 мм, грузоподъемностью 1—2 т с тросами диаметром 12—16 мм при работе со снарядами на коллекторах диаметром свыше 600 мм. Весьма удобны лебедки со съемным краном-укосиной грузоподъемностью 1 т.

Аварийная прочистка сети или устранение засорений, вызванных неправильным использованием канализации населением и неудовлетворительной эксплуатацией сети, производится с помощью стальной проволоки, гибкого стального вала, штанг и размывом водой. Стальную проволоку применяют для труб диаметром до 250 мм, гибкий вал — для труб диаметром до 300 мм, а способом размыва водой прочищают трубы диаметром до 350 мм. Аварийная бригада состоит из трех-четырех рабочих.

При аварийной прочистке применяют стальную проволоку диамет-

ром 8—9 мм с наконечником в виде шарика или кольца. Проволоку вводят через опущенную в затопленный колодец и закрепленную винтовым зажимом направляющую трубу (рис. 3.43). Для улавливания предметов, вызвавших засорение трубы, в нижнем сухом колодце устанавливают вилы. Проволоку зажимают в приспособление, с помощью которого двое или трое рабочих придают проволоке поступательное движение, пока не пробьют засорение. Такой способ устранения засорений имеет наиболее широкое распространение, однако он не является совершенным. Проволока в трубе превращается в спираль, вследствие чего снижается ее предельная упругость, сила удара трех рабочих составляет около 800—1000 Н, а у мест закупорки в трубе диаметром 150 мм едва достигает 50—100 Н. В трубах диаметром 200—250 мм проволока иногда не доходит до места закупорки из-за пружинящего движения витков спирали.

Вместо стальной проволоки с большим успехом применяют гибкий вал, состоящий из сердечника (стального троса диаметром 8—9 мм) и оболочки (плотно навитой пружины — спирали из стальной проволоки диаметром 5 мм). Длина гибкого вала 50—60 м, наружный диаметр оболочки 20—28 мм.

Если засорение не удается устранить проволокой или гибким валом, прибегают к размыву засорения водой из городского водопровода, пробиванию засорения металлическими трубчатыми штангами или комбинированному способу — пробивке штангами с размывом засорения водой.

Размыв засорения водопроводной водой производят из колодца, расположенного ниже участка засорения. Воду берут из ближайшего пожарного гидранта. Пробивку засорения, не поддающегося размыву, производят трубчатыми штангами, продвигаемыми постепенным наращиванием через нижний колодец к месту засорения. Штанги состоят из труб диаметром 13—19 мм и длиной 0,9—0,7 м. К первой штанге присоединяют наконечники (бурав, пику, шар, кольцо) и привязывают стальной трос диаметром 6—8 мм. Вначале штанги продвигают в трубу вручную, а затем с помощью лебедки. Если устранить засорение штангами не удается, трубы откапывают и перекладывают.

По статистическим данным, 96—97% всех засорений устраняется немедленно проволокой или гибким валом при первом выезде бригады к месту засорения. Продолжительность устранения засорения в Москве в среднем составляет 45—50 мин с момента выезда бригады с эксплуатационного участка. Около 3—3,5% засорений требует более сложных методов устранения и длительного времени, около 0,2—0,3% засорений ликвидируют перекладкой труб. На 40 км уличной сети приходится примерно одна перекладка труб в год.

Для гидродинамической профилактической и аварийной прочистки сети и коллекторов диаметром до 600 мм Мосочиствод применяет коллекторно-очистительную машину КО-502 на шасси автомашины ЗИЛ-130 (поливочная машина ПМ-130), разработанную ВНИИКоммунмашем и изготовляемую Арзамасским заводом коммунального машиностроения (рис. 3 44). Коллекторно-очистительная машина имеет цистерну для чистой воды, поршневой насос высокого давления, барабан с высоконапорными шлангами и комплект насадок. Питание насос получает от двигателя автомашины.

Машина управляется дистанционно с пульта, позволяющего наблюдать и регулировать режим работы двигателя и наличие воды в цистерне. Барабан с шлангом устанавливают над колодцем, по направляющему блоку вводят шланг с насадкой в коллектор против потока сточной жидкости. За счет реактивного действия струй высокого давления, выходящих из отверстий насадки, последняя продвигается в трубе самостоятельно на длину очищаемого расстояния (холостой ход). Рабочий ход начинается при возвращении снаряда-насадки. Механический привод

вращает барабан, на который наматывается шланг, и насадка возвращается вместе с потоком жидкости, смывая струями высокого давления загрязнения с поверхности труб и осадки, уносимые со смывной водой.

Для ликвидации засорений в трубах применяют насадку, имеющую направленное вперед дополнительное сопло. Точно так же насадка со

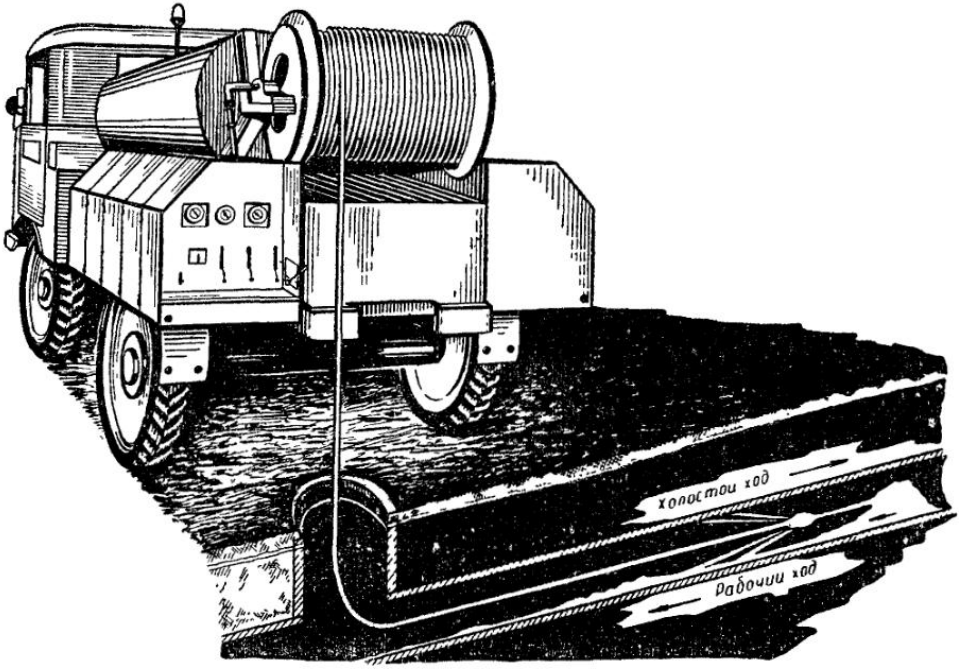


Рис. 3.44. Прочистка трубопроводов гидродинамическим способом

шлангом вводится в нижний колодец и доводится до места засорения, которое размывается направленной вперед струей высокого давления.

Коллекторно-очистительная машина наиболее эффективно работает при очистке труб диаметром 150—600 мм (табл. 3.16). Для оперативной

Таблица 3.16

Техническая характеристика коллекторно-очистительных машин для гидродинамической профилактической и аварийной прочистки канализационной сети

Показатель	Тип машины	
	КО-502	Мосводоканалниипроекта
Шасси автомашины	ЗИЛ-130	ГАЗ-66-01
Трехплунжерный насос	ПТ-13/100	ПТ-4/60
Подача насоса, л/мин	180	100—120
Рабочее давление насоса, МПа	10	6,5—10
Вместимость цистерны, м³	5	2,43
Длина рукава, м:		
высокого давления	120	80
низкого »	—	20
Диаметр прочищаемых труб, мм	150—600	100—300
Длина очищаемых труб за смену, м	500—1500	330—880
Масса спецоборудования, т	—	2,012
Общая масса машины, т:		
при полной нагрузке	~12	7,138
без нагрузки	~7	4,532

очистки и ликвидации загрязнений внутриквартальных и дворовых сетей малого диаметра Мосводоканалниипроект разработал по аналогии машину на шасси ГАЗ-66-01. Технические характеристики обеих машин приведены в табл. 3.16.

Коллекторно-очистительные машины исключают тяжелые антисанитарные условия ручного труда, спуск рабочих в колодец, а также позволяют быстро ликвидировать тяжелые засорения без раскопки трубопроводов.

§ 49. РЕМОНТ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СЕТИ

Все повреждения, обнаруженные на канализационной 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 канализации 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.

Для перекачки воды на канализационных сетях применяют центробежные или диафрагмовые насосы. Насосы устанавливаются на шасси автомашин ГАЗ-54, ГАЗ-63 грузоподъемностью 2,5 т и ЗИЛ-156, ЗИЛ-164 грузоподъемностью 4 т. Насосы типа Ф подачей соответственно 100 и 150 м^3/ч приводятся в действие электродвигателями, питание которых производится от городской электросети.

Трест Мосочиствод применяет передвижную насосную установку с насосом подачей 360 м^3/ч, приводимую в действие непосредственно от двигателя автомашины ЗИЛ-131 через коробку отбора мощности, чем исключается установка дополнительного двигателя. Насос имеет высоту всасывания 6 м и создает давление 0,23 МПа. Для первоначальной заливки насоса на шасси установлен диафрагмовый насос 4НД с приводом от той же коробки отбора мощности автодвигателя.

Центробежные насосы подачей 36—72 м^3/ч и диафрагмовые насосы подачей 8—25 м^3/ч, устанавливаемые на тележках, могут работать с бензиновым двигателем и электродвигателем через редуктор.

§ 50. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Наличие в канализационной сети газов представляет большую опасность для эксплуатационного персонала. Поэтому эксплуатационный персонал должен строго выполнять «Правила безопасности при эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений», утвержден-

ные ЦК профсоюза рабочих местной промышленности и коммунально-бытовых предприятий 16 октября 1968 г. (М., Стройиздат, 1970).

К работе, связанной со спуском в колодцы, допускается бригада не менее трех человек: один для работы в колодце, второй для работы на поверхности и третий для наблюдения и оказания помощи в случае необходимости работающему в колодце. Из состава бригады выделяется ответственное лицо. Рабочие должны иметь предохранительные и защитные приспособления: предохранительные пояса с веревками, проверенные на разрыв при нагрузке $2 \cdot 10^4$ кН/м^2; изолирующие противогазы со шлангом ПШ-1 или ПШ-2 длиной на 2 м больше глубины колодца, но не более 12 м; две бензиновые лампы ЛБВК; аккумуляторные фонари напряжением не свыше 12 В; ручной вентилятор, крючки и ломы, оградительные приспособления.

Члены бригады должны прежде всего оградить рабочее место переносными треногами: днем со знаками, окрашенными в белый и красный цвет, а ночью с аккумуляторными сигнальными фонарями или автоматической сигнализацией.

Перед спуском рабочего в колодец необходимо тщательно проверить лампой наличие в колодце газа. При наличии в колодце сероводорода и метана пламя лампы уменьшается, при наличии паров бензина пламя увеличивается и окрашивается в синий цвет, а при наличии угольной кислоты пламя гаснет. Содержание горючих газов в воздухе канализационной сети определяют также переносным газоанализатором ПГФ-11-54. Легкие газы (метан) удаляются естественным проветриванием через открытые люки соседних расположенных выше и ниже колодцев. Тяжелые газы скапливаются над поверхностью сточной жидкости — их удаляют с помощью вентилятора с ручным или электрическим приводом либо с помощью воздуходувок АВМ-2 и РВМ-2, установленных на специальных машинах. После удаления газов производят повторную проверку на наличие газов в воздухе канализационной сети.

Опускание рабочих в колодец должно сопровождаться мерами предосторожности: запрещается опускаться с фонарями, имеющими открытое пламя, зажигать в колодцах огонь и курить около открытого колодца. Аккумуляторные фонари для работы в коллекторе следует применять с напряжением не выше 12 В.

При опускании в колодец рабочий должен надеть предохранительный пояс с привязанной к нему веревкой и взять зажженную лампу ЛБВК. Рабочему в маске с выкидным шлангом разрешается работать в колодце без перерыва не более 10 мин, а при работе в коллекторах следует пользоваться кислородным изолирующим противогазом КИП.

Глава XII

ПЕРЕКАЧКА СТОЧНЫХ ВОД

§ 51. ГЛАВНЫЕ И РАЙОННЫЕ НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ[1]

Как было указано в § 3, в системах канализации 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 канализуемой территории предназначены районные насосные станции.

Иногда возникает необходимость устройства насосных станций для

[1] Подробные данные о насосных станциях излагаются в специальном курсе «Насосы и насосные станции».

перекачки дождевых вод, если отметки уровня воды в водоеме, в который должны быть отведены эти воды, выше отметок канализуемой территории 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.

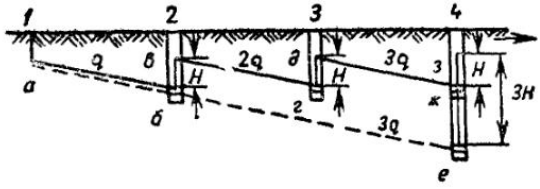


Рис. 3.45. Укладка коллектора с промежуточными станциями перекачки

Так, на участке *1—4* (рис. 3.45) сточная вода может быть отведена самотеком от точки *а* до точки *е* (на рисунке показано пунктиром), а затем насосной станцией, расположенной в точке *4*, — от точки *е* до точки *з*. Но можно на этом участке построить еще две насосные станции и поднять воду: в точке *2* — от точки *б* до точки *в*, в точке *3* — от точки *г* до точки *д* и, наконец, в точке *4* — от точки *ж* до точки *з*. Если принять, что приток сточных вод равномерен и на каждом из участков *1—2*, *2—3* и *3—4* равен q и что трубы в обоих вариантах укладываются с одинаковым уклоном, то по первому варианту на насосной станции в точке *4* необходимо поднять $3q$ л/с на высоту $3H$ м, т. е. иметь мощность, равную $3q \cdot 3H \cdot 10 = 90qH$ Вт. По второму варианту насосная станция в точке *2* поднимает q л/с на высоту H м, т. е. требуется мощность, равная $kqH = 10qH$ Вт; станция в точке *3* поднимает $2q$ л/с на высоту H м и имеет мощность $20qH$ Вт; станция в точке *4* поднимает $3q$ л/с также на высоту H м и, следовательно, требуется мощность $30qH$ Вт.

Общая мощность составит, Вт:

$$10qH + 20qH + 30qH = 60qH.$$

Таким образом, по второму варианту мощность, а следовательно, энергия, затрачиваемая на подъем сточных вод, меньше, чем по первому варианту. Кроме того, трубы на участках *2—3* и *3—4* прокладываются на меньшей глубине. Но зато по второму варианту необходимо построить вместо одной насосной станции три, правда меньшей мощности и глубины. В соответствии с этим повышаются эксплуатационные расходы, не связанные с потреблением энергии (на обслуживающий персонал). Во избежание этого следует проектировать автоматические станции. Для выбора того или иного варианта в каждом отдельном случае должны быть сделаны сравнительные технико-экономические расчеты с учетом как строительных, так и эксплуатационных расходов.

Место расположения насосных станций определяется при решении схемы канализации на основе технико-экономических расчетов и согласовывается с местными Советами депутатов трудящихся и органами Государственного санитарного надзора.

Как правило, насосные станции для перекачки сточных вод устраивают в самой пониженной части канализуемой территории с учетом санитарных, планировочных и гидрогеологических условий местности, наличия источников питания станции электроэнергией и возможности устройства аварийного выпуска. Перед насосной станцией все канализационные линии, тяготеющие к ней, должны быть объединены одним общим коллектором, по которому сточные воды подводятся в отделение решеток приемного резервуара.

По санитарным правилам насосные станции подачей до 50 тыс. м³/сутки следует располагать в отдельных зданиях на расстоянии 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 — плывунов) 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/сутки, 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 канализационного водовода, рассчитанного на пропуск сточных вод только первой очереди канализации.

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 насо-

сов 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.

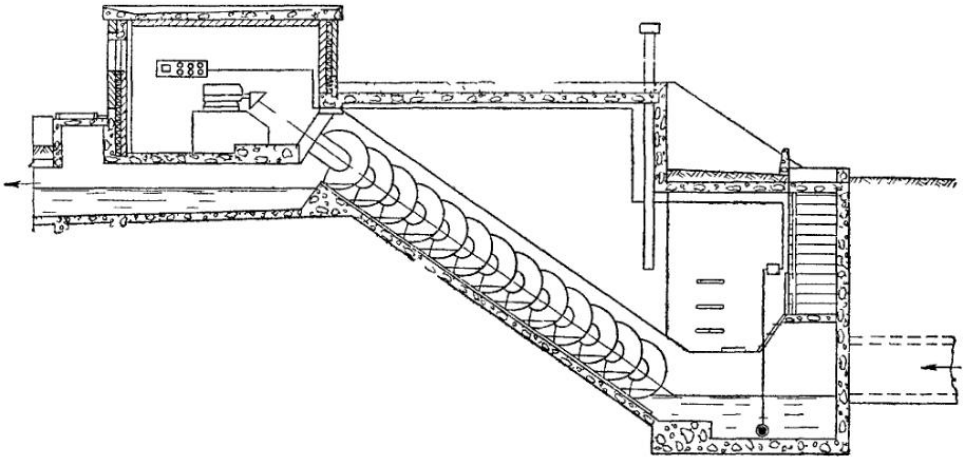


Рис. 3.46. Установка шнекового подъемника на канализационном коллекторе

Для перекачки бытовых и близких им по составу производственных сточных вод по новому стандарту применяются центробежные насосы марки Ф, выпускаемые отечественной промышленностью, с подачей 14,5—9000 м³/ч и напором 8—95 м (например, насос Ф16/27 с подачей 16 м³/ч при напоре 27 м).

На насосных станциях дождевой, общесплавной и полураздельной систем канализации устанавливаются насосы для перекачки дождевых вод суммарной подачей, равной расчетному притоку этих вод при периоде однократного переполнения, установленном для принятой схемы канализации, 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.

На рис. 3.46 изображена принципиальная схема установки шнекового подъемника на канализационном коллекторе.

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—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 канализационной 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 предусматривать 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.

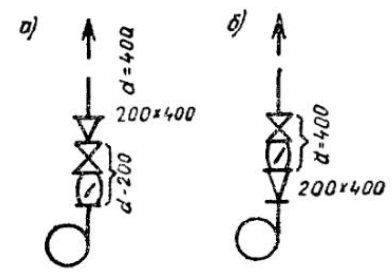


Рис. 3.47. Схемы переходов напорного патрубка насоса с меньшего диаметра на больший (диаметры даны в мм)

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 приемном 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—1,5 м/с, скорость движения сточных вод в напорных трубопроводах — 1,5—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.

Схемы перехода напорного патрубка насоса с меньшего диаметра на больший с установкой перехода, задвижки и обратного клапана показаны на рис. 3.47. Монтаж по схеме, показанной на рис. 3.47, *а*, приводит к перерасходу электроэнергии в результате больших потерь напора.

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.

Канализационные насосные станции 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 теплопотери помещения, необходимый обмен воздуха определяется расчетом, а при отсутствии избытков тепла принимается однократным в течение 1 ч.

Тип оборудования, система управления и условия эксплуатации канализационных насосных станций могут быть весьма разнообразны, поэтому состав вспомогательных и бытовых помещений в каждом отдельном случае устанавливают в зависимости от конкретной обстановки с учетом обязательных норм и требований органов Государственного санитарного надзора.

При устройстве и эксплуатации канализационных насосных станций 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 запрещены, 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 приямке; 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.

§ 52. 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. На рис. 2.2 приведен ступенчатый график такого притока. Для подбора подачи насосов и для установления режима их работы удобнее пользоваться не ступенчатым, а суммарным или интегральным графиком (рис. 3.48).

Ломаная линия показывает суммарный приток сточных вод от какого-либо начального момента (в данном случае от 0) до начала каждого часа. Приток выражают в процентах от суточного расхода или в кубических метрах. Откачка воды насосами изображается по тому же принципу 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. Так, например, как видно из графика, при ступенчатой работе насосов приток воды к 11 ч составляет 46% суточного расхода, а откачка — 40%; следовательно, в 11 ч в резервуаре должно находиться 6% суточного притока воды.

Если откачка производится равномерно в течение суток при непрерывной работе насосов, то часовая откачка составляет $100:24 \approx 4{,}17\%$ суточного притока, и на графике она будет изображена прямой линией соответствующего наклона. Наклон этой линии определится, если соединить точку *А*, соответствующую 0 ч и откачке 0%, с точкой *Б*, соответствующей 24 ч и откачке 100% (на рисунке эта линия не показана). Линии, соответствующие по своему наклону различным подачам насосов, откладываются на графике от какой-либо одной (безразлично какой) точки;

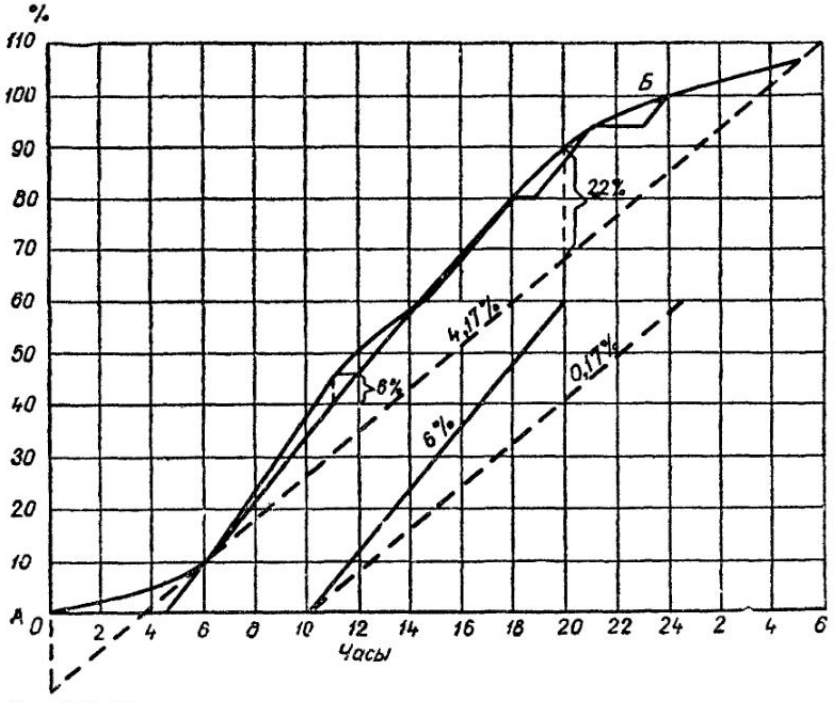


Рис. 3.48. Интегральные кривые притока воды в приемный резервуар и откачки ее из резервуара

в данном случае они отложены от точки, дающей 0% в 10 ч. Проведя линию с таким же наклоном касательно к линии притока, получим совмещенный график притока и откачки. Из графика видно, что в 6 ч (точка касания) резервуар будет пустой. Затем, вследствие того что приток превышает откачку (линия притока круче), объем воды в резервуаре увеличивается и при равномерной работе насосов в 20 ч достигает своего максимума — около 22% суточного расхода. Как видно из графика, в 0 ч (или в 24 ч) объем воды в резервуаре при равномерной работе насосов равен 15%.

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. Этот максимум объема воды в резервуаре наблюдается, как видно из графика, в 11 ч. При подаче насоса (или всех насосов вместе) 6% суточного расхода уменьшить объем резервуара нельзя, так как приток от 6 до 11 ч идет с интенсивностью, превышающей 6% в 1 ч.

На рис. 3.49 представлен график ступенчатой и равномерной работы насосов и объема воды в резервуаре в каждый час суток.

Примерную подачу насосов подбирают с таким расчетом, чтобы она в наибольшей степени соответствовала режиму притока воды. По этой подаче подбирают насосы из числа изготовляемых 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 ч. Во всех случаях, когда выполнение указанных

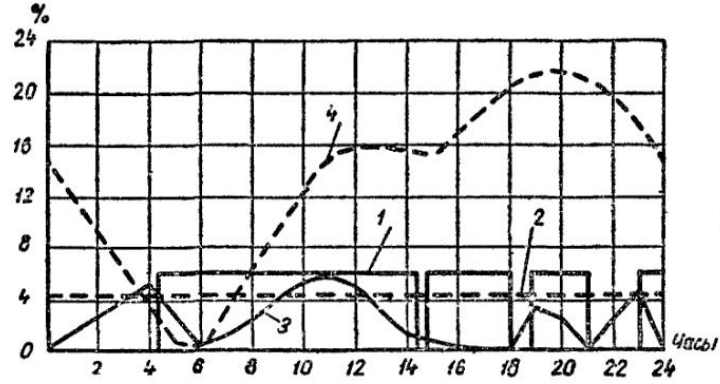


Рис. 3.49. Кривые работы насосов и объема воды в резервуаре

1, 2 — ступенчатая и равномерная работа насосов; *3, 4* — объем воды в резервуаре соответственно при ступенчатой и равномерной работе насосов

требований в отношении частоты включений агрегатов вызывает затруднения, необходимо проверять принятую вместимость резервуара расчетом по формуле

$$W_{\text{мин}} = \frac{Q_{\text{п}}}{n}\left(1 - \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{н}}}\right), \qquad (3.50)$$

где $Q_{\text{п}}$ — приток минимального расхода, м³/ч;
$Q_{\text{н}}$ — подача насоса, м³/ч;
n — число включений в 1 ч.

Например, подставляя в формулу численные значения притока 300 м³/ч и подачи насоса 450 м³/ч при $n=6$, получим:

$$W_{\text{мин}} = \frac{300}{6}\left(1 - \frac{300}{450}\right) \approx 17 \text{ м}^3$$

и соответственно при $n=3$ $W_{\text{мин}} \approx 34$ м³.

§ 53. 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 приямками 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.

Приямки для воронок должны иметь размеры, достаточные для размещения в них всасывающих труб; диаметр всасывающей воронки D должен составлять 1,3—1,5 d (где d — диаметр всасывающей трубы).

Расстояние от центра воронки до стены приямка должно быть не менее величины D и во всех случаях не менее 300 мм. Глубину приямка принимают равной 40—80 см в зависимости от диаметра всасывающих труб.

Дно приемного резервуара устраивают с уклоном к приямкам 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 приямкам 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 отростками-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 (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Ширина прозоров решетки и масса отбросов, снимаемых с решеток

Показатель	Марка насоса						
	Ф16/27; Ф14,5/10; Ф25,5/14; Ф45/21; Ф57,5/9,5	Ф81/31	Ф81/18; Ф144/46; Ф234/63	Ф144/10,5; Ф255/39,5	Ф255/15,5; Ф450/57,5	Ф450/8; Ф800/33	Ф800/12; Ф1440/49; Ф1440/17,5; Ф2400/75,5; Ф4000/26
Ширина прозоров решетки, мм, не более . .	20	35	50	65	80	100	125
Масса отбросов в год на одного человека, кг	8	3	2,3	1,6	1,6	1,2	1,2

На насосных канализационных станциях рекомендуется применять решетки-дробилки для измельчения отбросов непосредственно в потоке сточной воды (табл. 3.18). 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 (табл. 3.19).

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 щитовые затворы перед решетками и после них для от-

Таблица 3.18

Техническая характеристика решеток-дробилок

Показатель	Марка решетки-дробилки	
	РД-200	РД-600
Диаметр барабана, мм	200	625
Частота вращения барабана, $мин^{-1}$	53	24
Мощность электродвигателя, кВт	1	0,6
Частота вращения электродвигателя, $мин^{-1}$	1500	1 500
Передаточное отношение редуктора	28,5	60
Пропускная способность по воде, $м^3$/сутки	2000	48 000
Масса, кг	310	1 800
Размеры, мм:		
высота	1485	2 170
длина	1460	1 340
ширина	455	810

Таблица 3.19

Число резервных агрегатов в зависимости от числа рабочих агрегатов

Агрегаты	Число агрегатов	
	рабочих	резервных
Решетки-дробилки	До 3 включительно	1 и 1 на складе
	Более 3	2
Решетки с механизированными граблями:		
прозоры решеток более 20 мм	1 и более	1
то же, 16—20 мм	До 3 включительно	1
	Более 3	2

ключения и осмотра решеток. Подробные сведения о решетках и описание их конструкций приведены в гл. XVII.

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. Молотковые дробилки Д-3 производительностью 0,25—0,3 т/ч с электродвигателем мощностью 17—20 кВт (рис. 3.50) установлены, например, на некоторых насосных станциях московской канализации.

Отбросы, не поддающиеся дроблению, должны собираться в контейнер и затем транспортироваться в отведенные места по указанию санэпидстанции.

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.

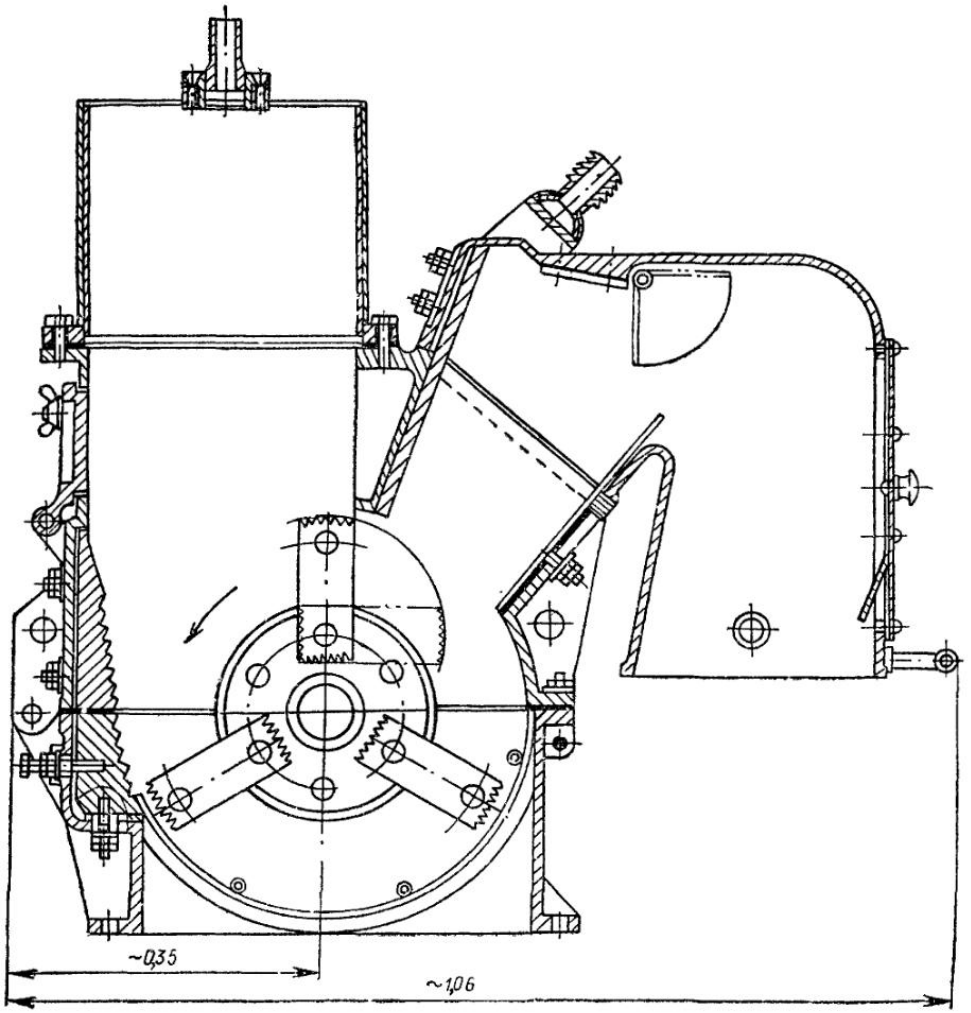


Рис. 3.50. Дробилка Д-3

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.

§ 54. НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ (ВОДОВОДЫ)

Число напорных водоводов от насосных станций с учетом перспективного развития канализации рекомендуется принимать не менее двух.

При проектировании водоводов может выявиться несколько возмож-

ных 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.

Диаметр напорных трубопроводов может быть определен по формуле (3.25).

На практике диаметр трубопроводов и потери напора в них обычно определяют по таблицам для расчета напорных труб.

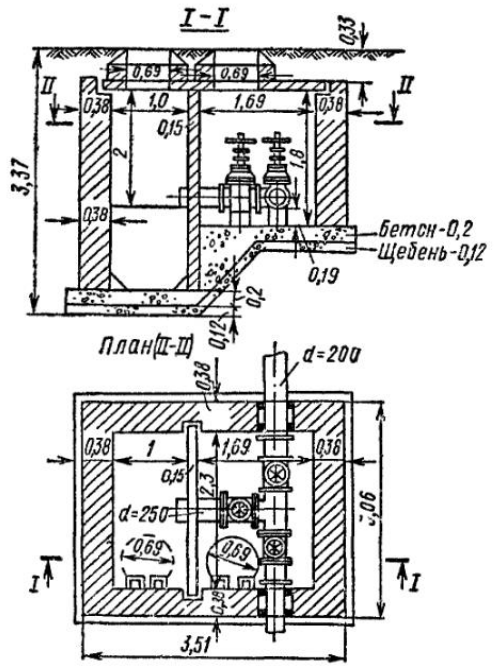


Рис. 3.51. Колодец с грязевым выпуском на напорном водоводе (диаметры даны в мм)

Число напорных водоводов принимают в зависимости от подачи насосной станции и очередности строительства канализационных 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 канализации 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, по данным Союзводоканалниипроекта, при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии 0,5 коп. 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. На рис. 3.51 показан колодец с выпуском на напорном водоводе.

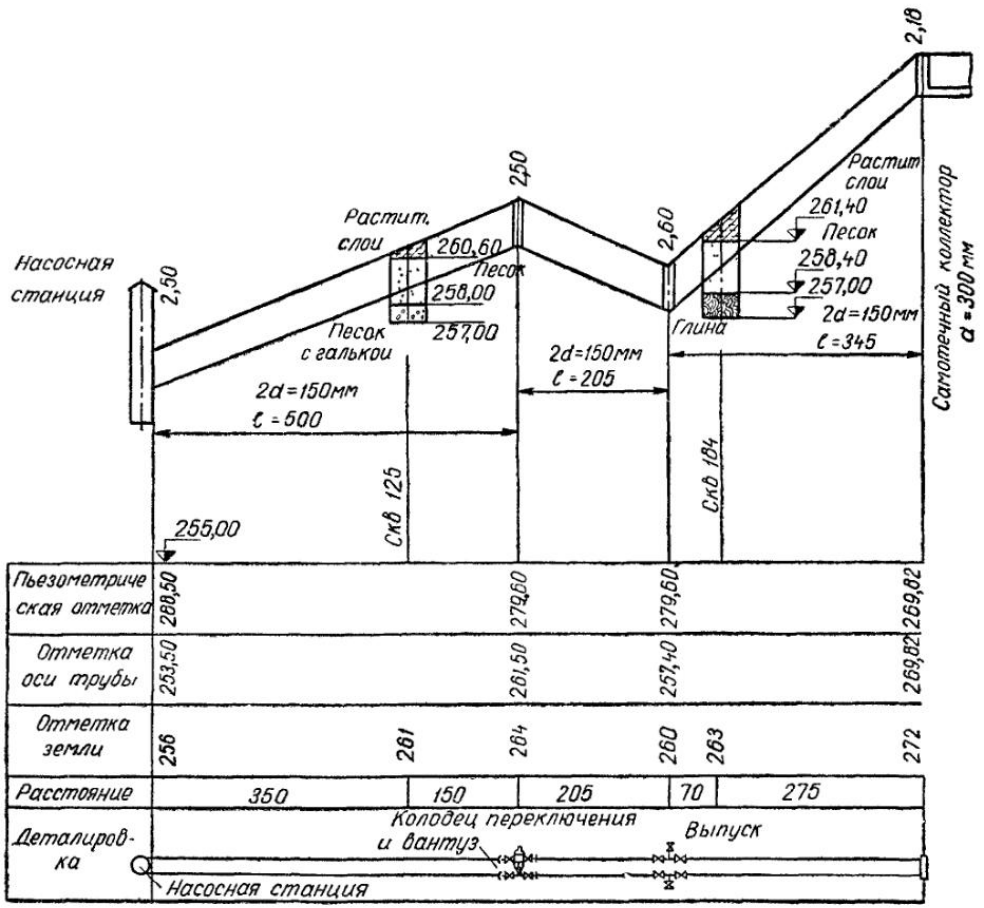


Рис. 3.52. Профиль напорного водовода

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 (рис. 3.52).

Диаметр вантуза для труб диаметром до 600 мм — 50 мм, до 1000 мм — 100 мм и свыше 1000 мм — 150 мм.

§ 55. 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 и согласование с органами Рыбоохраны.

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 канализационной 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.

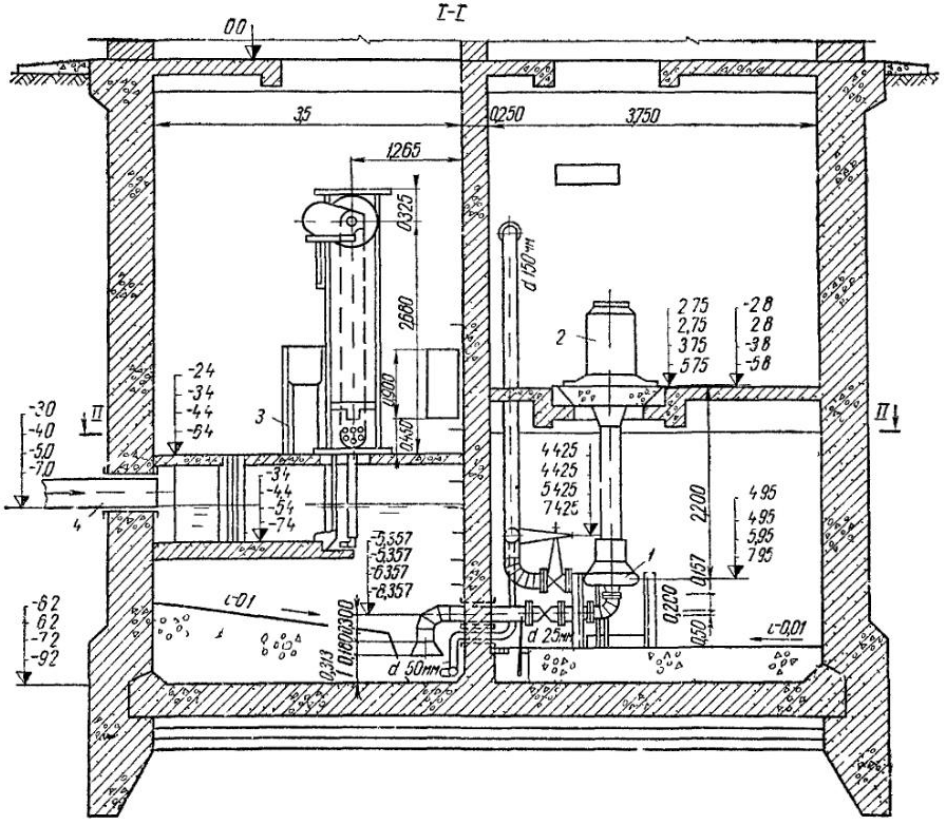
§ 56. ТИПЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Наиболее широкое распространение получили насосные станции шахтного типа с наземным павильоном; типовой проект одной из них с внутренним диаметром шахты 7,5 м приведен на рис. 3.53. В машинном помещении размещаются два агрегата с вертикальными насосами марки ФВ144/46 подачей 144 м³/ч каждый и два вспомогательных (для охлаждения и смазки подшипников) вихревых насоса марки ВК-2/26 подачей 2,7 м³/ч каждый.

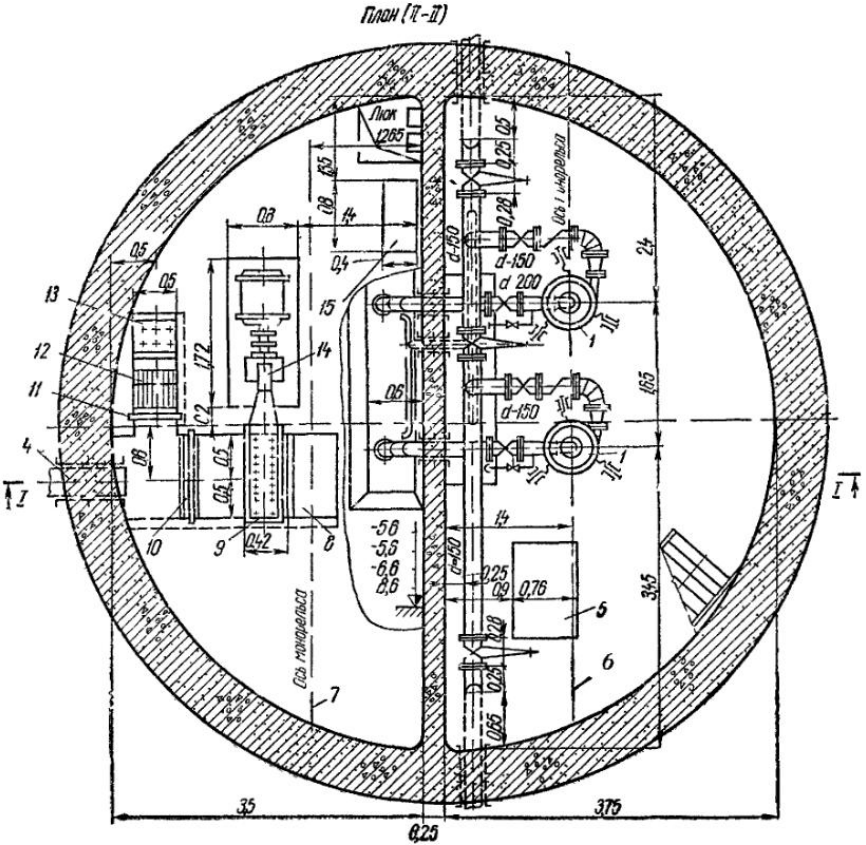
Насосные станции этого типа предназначены для перекачки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод, имеющих нейтральную или слабощелочную реакцию, без взрывоопасных примесей.

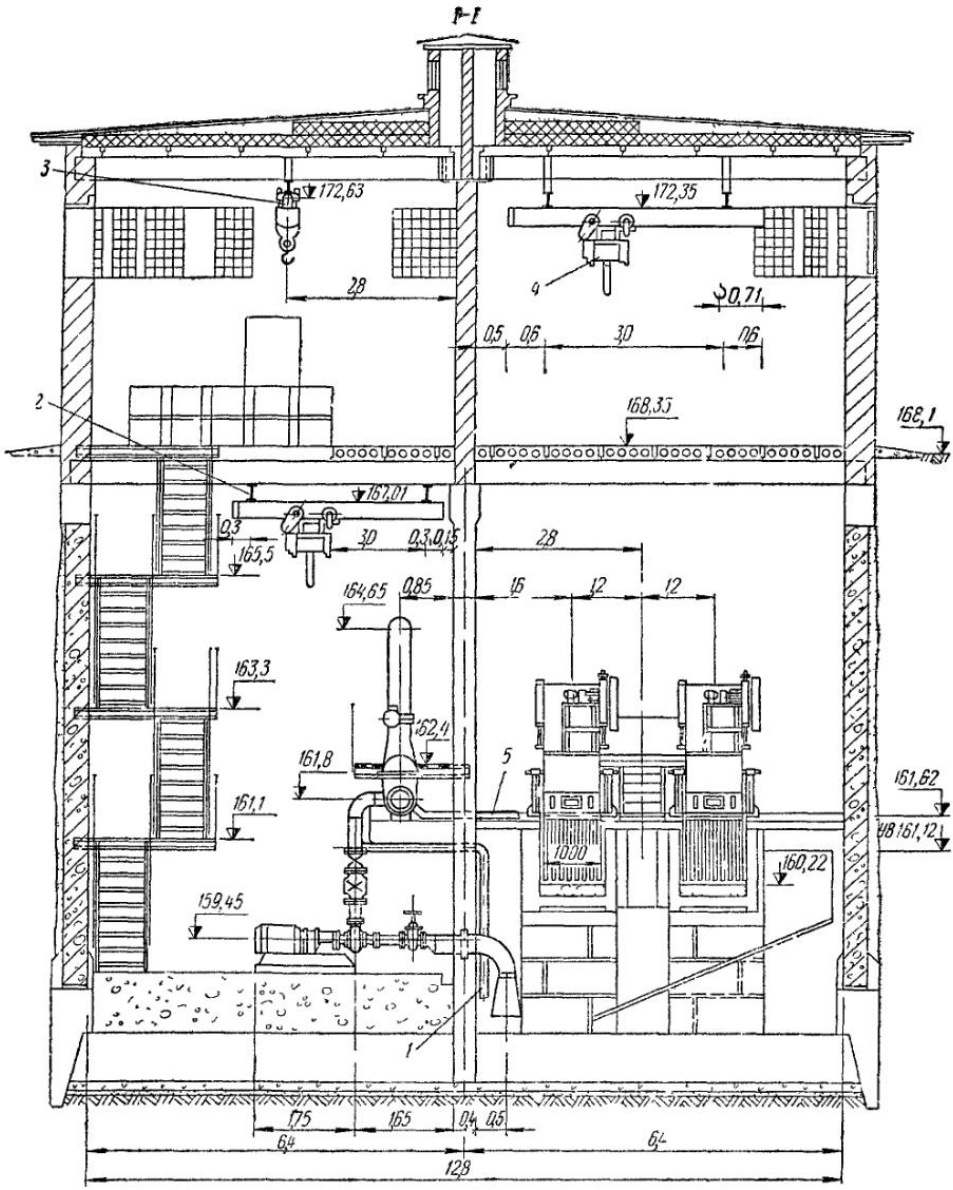
Рис. 3 53 Канализационная насосная станция с вертикальными насосами (диаметры даны в мм)

1 — центробежные насосы ФВ144/46 (Q=144 м³/ч, H=46 м); *2* — электродвигатель АО2-81-4 (N=40 кВт, n=1450 мин$^{-1}$), *3* — стойка для корыта; *4* — подводящий коллектор; *5* — насос ВК-2/26 с электродвигателем АО2-41-4 (N=4 кВт), *6* — таль ручная грузоподъемностью 1 т, *7* — то же, 3,2 т, *8* — решетка механизированная РММВ-1000, *9*, *13* — дырчатые корыта, *10* — затвор плоский поверхностный размером 1×1 м, *11* — то же, размером 0,5×1м, *12* — решетка ручная, *14* — дробилка Д-3 с электродвигателем АО2-71-4 (N=22 кВт, n=1450 мин$^{-1}$), *15* — бак разрыва струи


I-I
0,0
3,5
0,250
3,750
1,265
0,325
2,680
0,900
0,450
d 150мм
2,75
2,75
3,75
5,75
-2,8
2,8
-3,8
-5,8
-2,4
-3,4
-4,4
-6,4
-3,0
-4,0
-5,0
-7,0
-3,4
-4,4
-5,4
-7,4
4,425
4,425
5,425
7,425
2,200
4,95
4,95
5,95
7,95
-5,357
-5,357
-6,357
-8,357
0,157
0,200
0,50
i-0,01
i-0,01
-6,2
6,2
-7,2
-9,2
0,313
0,180
0,300
d 50мм
d 25мм
II
II
1
2
3
4

План (II-II)


Люк
1,265
1,55
0,8
1,4
0,8
0,4
0,5
0,5
0,5
0,25
0,28
d-150
d-150
d 200
d-150
d-150
Ось 1 шнорельса
Ось монорельса
1,72
0,2
0,6
0,8
0,5
0,5
0,42
1,4
0,25
0,9
0,76
0,28
0,25
0,65
2,4
1,65
3,45
3,5
3,75
0,25
I
I
1
1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15



Приемный резервуар принят вместимостью 30 м^3, что соответствует 6-минутной подаче двух насосов.

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

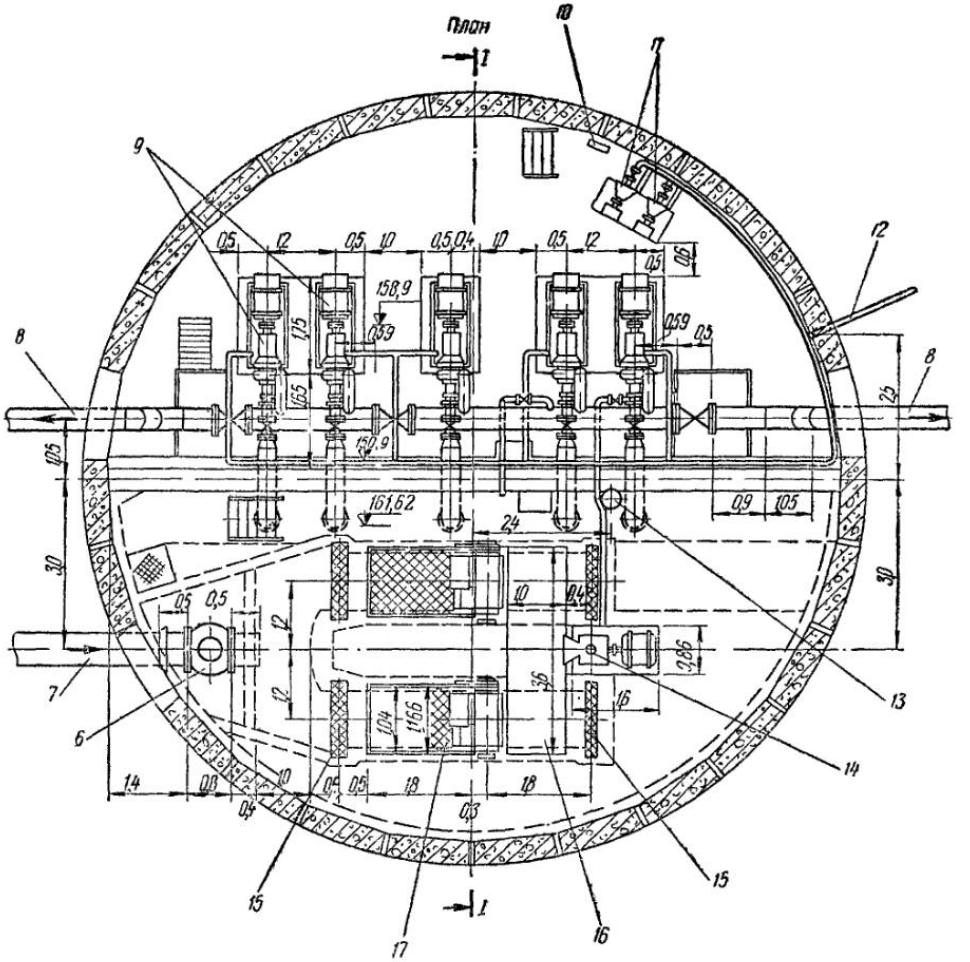


Рис. 3.54. Канализационная насосная станция пропускной способностью 10 000 м³/сутки

1 — трубопровод для опорожнения и взмучивания осадка d_y=100 мм; *2* — кран подвесной однобалочный; *3* — таль электрическая; *4* — кран подвесной однобалочный облегченного типа; *5* — трубопровод для подачи воды в дробилку *d*=80 мм; *6* — задвижка; *7* — подводящий коллектор *d*=600 мм; *8* — напорные трубопроводы *d*=300 мм; *9* — насосы Ф144/10,5 с электродвигателем АО2-81-4 (*N*=8,5 кВт, *n*=960 мин$^{-1}$); *10* — дифманометр; *11* — повысительные насосы 2К-6 с электродвигателем АОЛ2-32-2 (*N*=4 кВт); *12* — водопровод *d*=50 мм; *13* — уровнемер поплавковый; *14* — дробилка для канализационных отбросов ДК-0,5 с электродвигателем АО2-71-4 (*N*=22 кВт, *n*=1450 мин$^{-1}$), *15* — затворы плоские поверхностные; *16* — площадка для обслуживания дробилки; *17* — решетка с механическими граблями МГ-9Т

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.

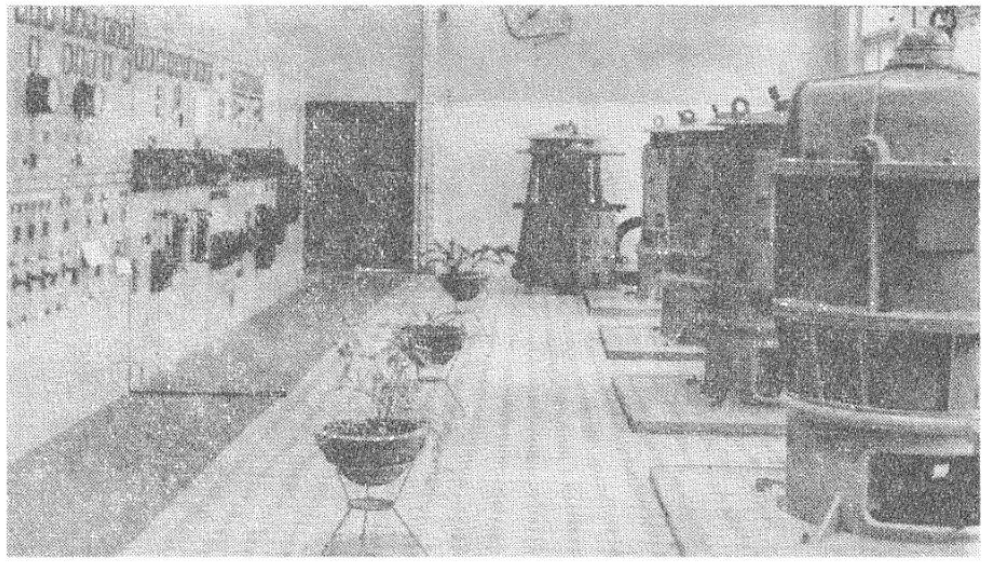


Рис. 3.55. Машинный зал насосной станции с автоматическим управлением агрегатами

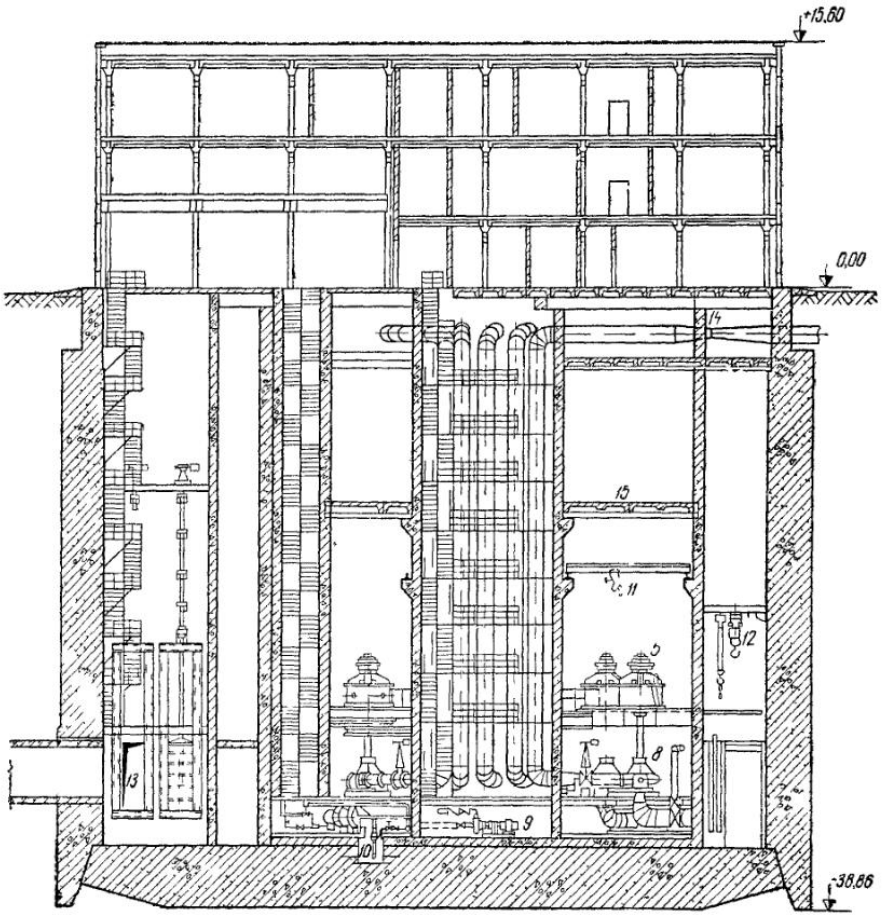


Рис. 3 56 Главная насосная

1 — аванкамера, *2* — грабли; *3* — дробилка; *4* — приемный резервуар, *5* — электродвигатель, *6* — на-
11 — кольцевой кран, *12* — электротельферы грабельного отделения;

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

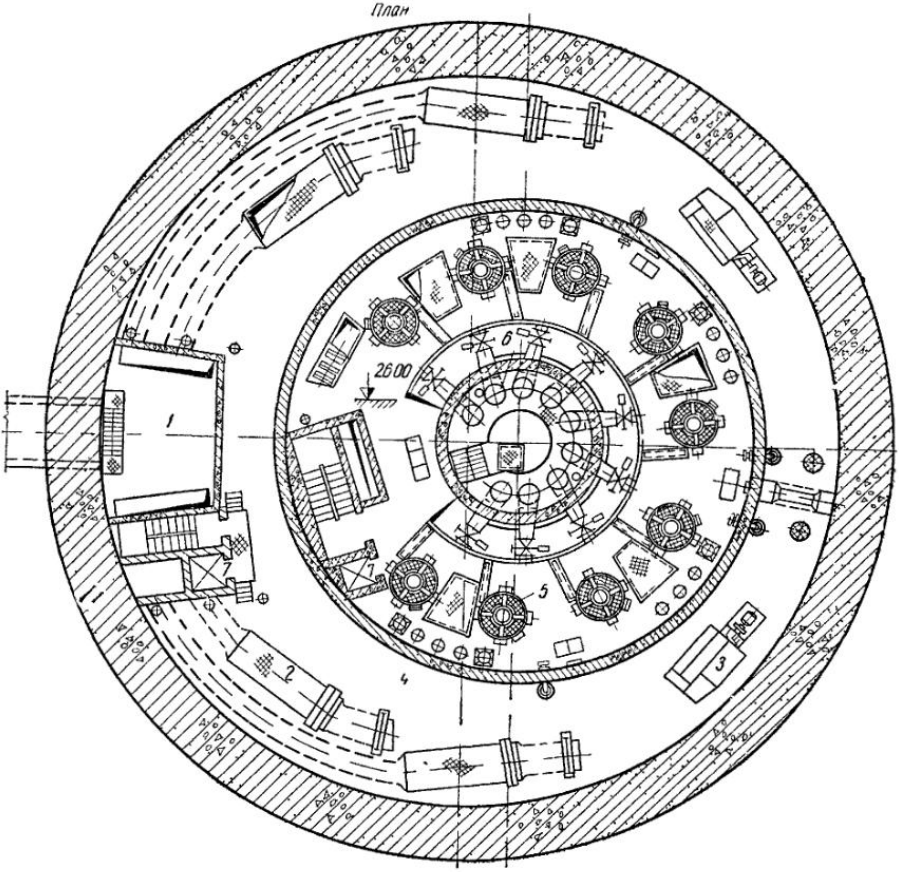
Пуск и остановка механизированной решетки автоматизируется с помощью реле времени. Предусмотрено также кнопочное управление.

При необходимости перекачки большого объема сточных вод в крупных городах строят круглые в плане насосные станции с большим числом мощных насосов

На рис. 3.54 представлена главная насосная станция с горизонтальными насосами подачей 10 000 м³/сутки, имеющая проверенное в эксплуатации оборудование с достаточным резервом для надежной работы по перекачке сточных вод.

На крупных канализационных 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



станция канализации Харькова

порный трубопровод; *7* — лифт, *8* — насос ЗОФВ-17; *9* — аварийный насос, *10* — дренажный насос; *13* — шибер аванкамеры, *14* — труба Вентури; *15* — помещение кондиционеров

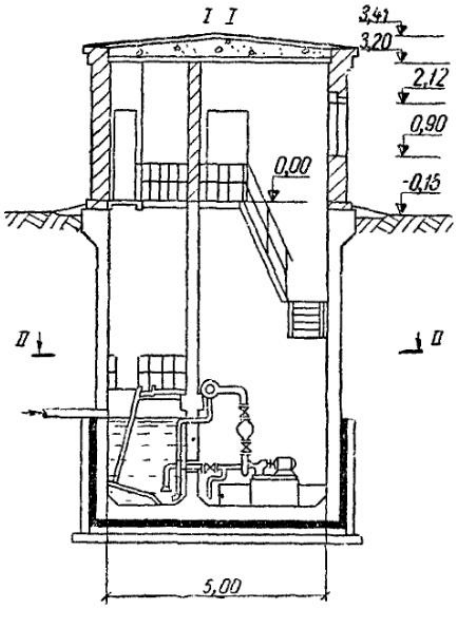
времени поступает вся необходимая техническая информация от маленьких насосных станций на главную насосную станцию города.

При строительстве насосных станций большое внимание уделяется технической эстетике.

На рис. 3.55 показан общий вид машинного зала насосной станции с автоматическим управлением агрегатами.

Повышение надежности работы насосных станций и снижение эксплуатационных затрат может быть достигнуто применением комплексного устройства автоматического управления насосной станцией на базе бесконтактных элементов автоматики «Логика Т» и тиристорной пусковой аппаратуры.

Принципиально новая компоновка главной насосной станции канализации глубокого заложения в Харькове дана на рис. 3.56. В плане насосная станция представляет собой три железобетонных стакана — один внешний и два внутренних. В разрезе она имеет несколько подземных перекрытий и трехэтажную надземную часть. Диаметры стаканов 47, 26 и 8 м. Между первым и вторым стаканом расположены аванкамера, приемный резервуар и грабельное помещение. Между вторым и третьим — машинное отделение, а внутри третьего проходят напорные трубопроводы. Внешний стакан и днище станции выполнены из монолитного бетона. Внутренние стаканы и перекрытия выполнены из сборных конструкций.



План (II-II)

Разрабатывая схему реконструкции канализации Харькова, институт Укргипрокоммунстрой объединил бассейны канализования коллекторами глубокого заложения. Использование такого решения позволило ликвидировать существующие насосные станции перекачки.

Вся система глубоких коллекторов обслуживается одной главной насосной станцией подачей 1,4 млн. м³/сутки, расположенной на территории очистных сооружений канализации города. При этом отпала необходимость в двойной и тройной перекачке сточных вод, а также в строительстве отдельных напорных водоводов, что дает экономию электроэнергии.

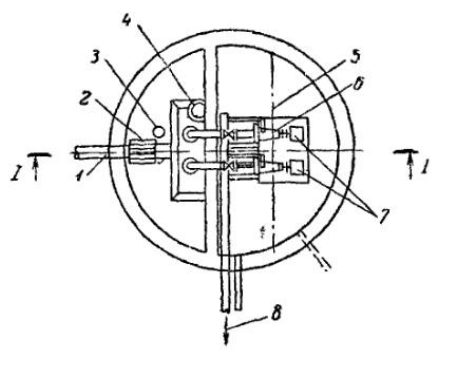


Рис. 3.57. Канализационная насосная станция на два агрегата с насосами Ф57,5/9,5 и ручной решеткой при глубине заложения подводящего коллектора 3, 4, 5, 6 и 7 м

1 — подводящий коллектор; *2* — решетка ручная; *3* — отверстие для ведра; *4* — раковина; *5* — ось монорельса; *6* — центробежные насосы; *7* — электродвигатели; *8* — напорный трубовод

Глубокое заложение коллекторов (15—55 м) позволило осуществить кольцевание основных канализационных коллекторов города и явилось принципиально новым в области канализационного строительства. Кольцевание повысило надежность системы, позволило периоди-

чески осматривать и ремонтировать коллекторы и сооружения на них. Капиталовложения при строительстве системы канализации глубокого заложения оказались выше, чем при традиционной системе, однако экономический эффект достигается на эксплуатационных расходах.

§ 57. 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 (рис. 3.57). Станция оборудована насосами марки Ф57,5/9,5 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. Сметная стоимость насосной станции на два агрегата с насосами Ф57,5/9,5 в зависимости от глубины заложения и грунтовых условий (в сухих или мокрых грунтах) составляет от 9,25 тыс. до 12,6 тыс. руб.

Снижение стоимости строительства этих насосных станций может быть достигнуто применением нового оборудования. По данным Союзводоканалниипроекта, более широкое применение в ближайшие годы будут иметь следующие насосные станции: а) насосная станция с тремя незасоряющимися насосами марки ФГС81/31 подачей 22 м³/ч, с напором 31 м; б) насосная станция с погружными электронасосами 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. Кроме этого, Союзводоканалниипроект разрабатывает проект канализационной насосной станции с насосами-дробилками НФД-2,5, которые также будут иметь широкое применение.

§ 58. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Чтобы правильно оценить экономику перекачки, необходимо анализировать систему в целом, т. е. совместную работу насосного оборудования и трубопроводов, взаимно увязанную гидравлическим расчетом. Экономические показатели системы зависят в основном от расхода электроэнергии, который определяется по формуле

$$Э = \frac{QHT}{3{,}6 \cdot 102 \eta_н \eta_э}, \qquad (3.51)$$

где $Э$ — расход электроэнергии за период времени T (сутки), кВт·ч;
Q — подача станции, м³/сутки;
H — средняя высота подъема, м;
$\eta_н$ и $\eta_э$ — к. п. д. насоса и электродвигателя.

Из формулы (3.51)) следует, что основными параметрами, определяющими показатель работы системы, являются объем поднимаемой сточной жидкости, средний за сутки напор насосов и коэффициент полезного действия агрегатов ($\eta_а = \eta_н \eta_э$).

Уменьшение расхода электроэнергии может быть достигнуто только в результате снижения потери напора и повышения коэффициента полезного действия агрегата.

Показателем эффективности работы системы является удельный рас-

ход электроэнергии на 1000 м³ перекачиваемой сточной жидкости или на 10 МДж работы насосных агрегатов.

Оба показателя дополняют друг друга; каждый из них освещает экономику работы станции с определенных позиций

Показатель удельного расхода электроэнергии на 10 МДж работы насосов позволяет быстро и точно контролировать средний коэффициент полезного действия насосно-силовых агрегатов, полученный в эксплуатационных условиях. Если условно принять $\eta_a = 1$, то удельный расход электроэнергии на 10 МДж работы насосов по формуле (3.51)

$$Э_{уд} = \frac{QH}{3{,}6 \cdot 102\eta_a} = \frac{1000}{3{,}6 \cdot 102 \cdot 1} = 2{,}72 \text{ кВт·ч/10МДж}.$$

Так как $\eta_a = 2{,}72/Э_{уд.ф}$ (где $Э_{уд.ф}$ — фактический удельный расход), то, зная по показаниям приборов расход электроэнергии на насосной станции на 10 МДж работы, легко установить средний коэффициент полезного действия насосно-силовых агрегатов станции за рассматриваемый период.

Такая система учета расхода электроэнергии позволяет держать под постоянным наблюдением один из важнейших показателей экономичности работы станции — коэффициент полезного действия агрегатов. Улучшить этот показатель, т. е. снизить удельный расход электроэнергии на измеритель 10 МДж, можно только повысив коэффициент полезного действия.

Условный показатель (при $\eta_a = 1$) удельных расходов электроэнергии на 1000 м³ сточной воды, очевидно, в H раз больше показателя электроэнергии расхода на 10 МДж, т. е.

$$Э_{уд} = 2{,}72H \text{ кВт·ч/1000 м}^3,$$

где H — средняя величина полного подъема жидкости, м.

Средний коэффициент полезного действия, с которым работали агрегаты станции в течение рассматриваемого периода, определяется из уравнения

$$\eta_a = 2{,}72H/Э'_{уд.ф},$$

где $Э'_{уд.ф}$ — фактический расход электроэнергии на подачу 1000 м³ сточных вод.

Приведенная система учета и планирования станции стимулирует не только увеличение коэффициента полезного действия агрегатов, но и снижение непроизводительных потерь напора в напорных трубопроводах и коммуникациях, так как удельный расход электроэнергии прямо пропорционален среднему напору насосов станции.

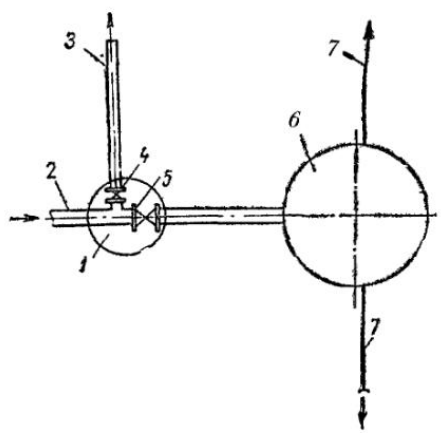


Рис. 3.58. Схема узла насосной станции

1 — камера; *2* — коллектор; *3* — аварийный выпуск; *4* — задвижка с ручным приводом; *5* — электрифицированная задвижка; *6* — насосная станция; *7* — напорные водоводы

Сравнительно высокие экономические показатели работы канализационной насосной станции при расчетных расходах могут быть обеспечены при одновременном соблюдении двух условий: 1) работа насосов с наивыгоднейшим коэффициентом полезного действия; 2) наименьшая возможная высота подъема сточной воды в данной системе.

Для оценки экономической эффективности работы насосной станции (определение оптимального режима работы насосов и установление нормы расхода электроэнергии

в кВт·ч на 1 м³ перекачиваемой воды) в каждом конкретном случае необходим технико-экономический расчет.

Стоимость перекачки 1000 м³ сточных вод насосными станциями в зависимости от подачи и напора составляет примерно 5—6 руб. Значительная экономия средств может быть получена за счет объединения (по примеру эксплуатации московской канализации) в одну службу нескольких насосных станций с единым руководящим и обслуживающим персоналом.

На рис. 3.58 показана схема узла насосной станции с аварийным выпуском из камеры перед зданием станции.

Глава XIII

ДОЖДЕВАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ (ВОДОСТОКИ)

§ 59. НАРУЖНЫЕ И ВНУТРЕННИЕ ВОДОСТОКИ

Наружная дождевая канализация (водостоки) предназначена для организованного и достаточно быстрого отвода выпавших на территории города или промышленного предприятия атмосферных осадков или талых вод. Быстрый отвод этих вод особенно необходим, если улицы имеют усовершенствованные водонепроницаемые покрытия, так как в противном случае во время сильных ливней возможно затопление улиц и подвалов зданий, расположенных в низких местах. Устройство водосточной сети предотвращает подъем уровня грунтовых вод в населенных пунктах, что имеет немаловажное значение для их благоустройства.

В дождевую канализацию кроме дождевых и талых вод иногда сбрасывают также так называемые условно чистые воды, образующиеся при технологических процессах на предприятиях; сброс их в дождевую канализацию допускается только с разрешения органов Государственного санитарного надзора. В отдельных случаях в загородные участки дождевой сети направляют бытовые сточные воды после соответствующей их очистки и обезвреживания.

Наружную дождевую (водосточную) сеть устраивают открытого, закрытого и смешанного типа:

в первом случае дождевые воды отводят с помощью открытых канав и лотков;

во втором случае дождевая вода, стекающая по поверхности, собирается водоотводными лотками, входящими в конструкцию городских дорог и тротуаров, и через особые колодцы, называемые дождеприемниками, поступает в сеть подземных трубопроводов, по которой она сплавляется по наикратчайшим расстояниям в ближайшие тальвеги или непосредственно в естественные водоемы; водосточные сети второго типа получили в современных городах наибольшее распространение, так как являются более совершенными;

в третьем случае часть элементов открытой сети, там где невозможно устройство канав (например, при большой глубине), заменяется закрытыми подземными трубопроводами.

Во всех указанных выше типах сети отвод дождевых вод в водоемы, как правило, производится самотеком. К перекачке дождевых вод прибегают лишь в очень редких случаях, при особо неблагоприятных условиях рельефа местности.

Для отвода атмосферных вод с крыш жилых зданий, имеющих особые конфигурации, а также иногда с крыш цехов промышленных предприятий устраивают так называемые внутренние водостоки, размещенные в пределах зданий. Из внутренней сети дождевые воды отводятся в наружную дождевую канализацию.

При расчете водостоков основное значение имеют жидкие осадки, выпадающие в виде дождей и требующие немедленного отведения. Твердые осадки (снег) дают меньший объем воды при таянии, и ее отведение не связано со временем выпадения этих осадков.

Для измерения объема атмосферных осадков, выпавших в виде дождя, применяют приборы, называемые дождемерами. Приборы эти бывают обыкновенные (простые) и самопишущие (автоматические).

Прибор первого вида — металлический открытый сосуд цилиндрической формы в виде ведра площадью 500 см² (диаметр 25,2 см). Эти дождемеры устанавливают на столбе высотой 2 м от поверхности земли. Для предотвращения выдувания осадков ветром прибор заключают в конический кожух (рис. 3.59). Для измерения жидких осадков, поступивших

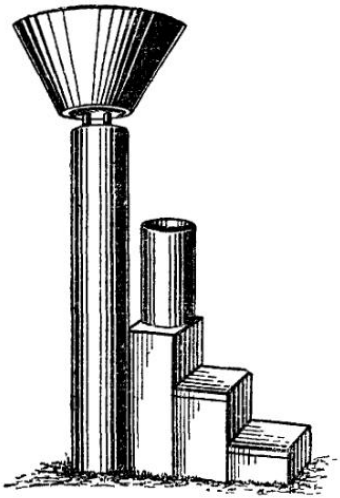


Рис. 3.59. Дождемер простого типа

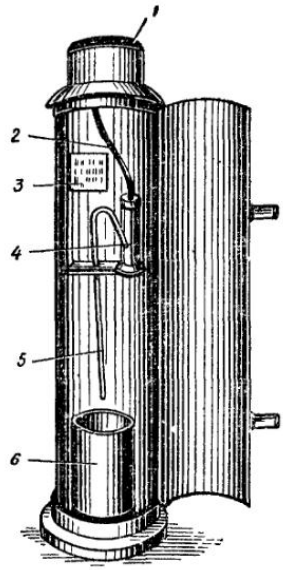


Рис. 3.60. Самопишущий дождемер

1 — приемный сосуд; *2*—трубка, *3* — барабан; *4* — измерительный цилиндр с поплавком; *5* — сифон; *6* — сосуд

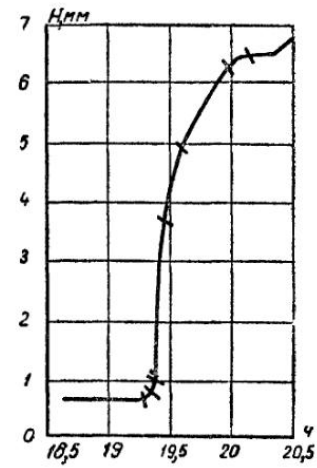


Рис. 3.61. Запись на ленте плювиографа

в дождемер, их сливают в измерительный градуированный сосуд со шкалой.

Дождемерами этого типа измеряют общий объем осадков, выпавших за сутки; объем выпавших осадков за любой промежуток времени получают суммированием суточных объемов. Такие дождемеры весьма просты по своей конструкции, поэтому они получили повсеместное распространение.

Однако данные о среднем объеме осадков за сутки для расчета дождевой канализации недостаточны. Для этого необходимо знать продолжительность отдельных дождей, объем осадков и их распределение за период каждого дождя. Такие данные могут быть получены только с помощью особых приборов, автоматически регистрирующих весь ход выпадения дождей. Наибольшее распространение у нас получил самопишущий дождемер (плювиограф) поплавкового типа (рис. 3.60).

Для сбора выпадающих осадков служит приемный сосуд, откуда по трубке осадки поступают в измерительный цилиндр с поплавком. Последний связан с пером, которое, касаясь бумажной ленты, надетой на барабан, чертит на ней линию. Внутри барабана помещен часовой ме-

ханизм с суточным заводом, который за сутки поворачивает барабан на один оборот.

Для обеспечения непрерывной работы прибора при любом количестве осадков в измерительный цилиндр сбоку вставлен стеклянный сифон. Изгиб сифона соответствует верхнему положению пера на ленте прибора.

При наполнении сосуда столб воды достигает уровня сифона, вода из цилиндра автоматически переливается в сосуд *6*, и перо опускается вертикально вниз до своего нулевого положения, после чего запись выпадения осадков продолжается тем же порядком.

На разграфленной ленте барабана по горизонтали фиксируется время, а по вертикали — высота слоя выпавшего дождя H (рис. 3.61). Продолжительность дождя оценивается с точностью до 2 мин, а высота слоя выпавших осадков — с точностью до 0,05 мм. При отсутствии осадков перо вычерчивает прямую линию.

Высота слоя выпавшего снега определяется простым дождемером. Для этого сосуд дождемера с твердыми осадками вносится в помещение, снег тает, а высота слоя воды, полученной в результате таяния, измеряется.

§ 61. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ, ИНТЕНСИВНОСТЬ И ПОВТОРЯЕМОСТЬ ДОЖДЕЙ. ПЕРИОД ОДНОКРАТНОГО ПЕРЕПОЛНЕНИЯ СЕТИ

Для полной характеристики дождя или ливня необходимо знать его продолжительность, интенсивность и повторяемость.

Продолжительность, или длительность, дождя измеряют в часах или минутах по лентам самопишущих дождемеров.

Под интенсивностью дождя понимают количество осадков, выпавших на единицу поверхности в единицу времени. Различают интенсивность выпадения дождей по слою i и по объему q.

Интенсивностью по слою i, мм/мин, называют отношение высоты слоя h, мм, выпавших осадков к продолжительности t, мин, их выпадения:

$$i = h/t. \tag{3.52}$$

Интенсивностью по объему q, л/(с·га), называют объем выпавших осадков, л/с, на 1 га площади. При интенсивности дождя по слою i интенсивность дождя по объему

$$q = \frac{i \cdot 1000 \cdot 1000}{1000 \cdot 60} = 166{,}7i, \tag{3.53}$$

где 166,7 — переводной модуль от интенсивности дождя по слою к интенсивности дождя по объему.

Повторяемостью дождя называют период времени в годах, в течение которого дождь определенной продолжительности и интенсивности выпадает один раз. Дожди большой интенсивности повторяются реже, дожди малой интенсивности, но большей продолжительности — чаще.

Для отвода больших расходов, образующихся в результате кратковременных, но сильных дождей (ливней), потребовались бы водостоки весьма значительных размеров и стоимости. Однако ввиду редкой повторяемости таких дождей водосток бо́льшую часть времени не будет загружен. Поэтому его рассчитывают на отвод дождя определенной интенсивности и продолжительности, а также с определенной повторяемостью, но с учетом возможности переполнения при очень сильных дождях.

Период (в годах), в который могут выпасть дожди большей интенсивности, т. е. период, в который произойдет один раз переполнение сети, называется периодом однократного переполнения сети p или периодом однократного превышения расчетной интенсивности дождя.

Таблица 3.20

Периоды однократного превышения расчетной интенсивности дождя p, принимаемые при расчете дождевой канализации населенных пунктов (годы)

Характеристика бассейна стока	Значения p при q_{20}			
	от 50 до 70	от 70 до 90	от 90 до 100	более 100
Плоский рельеф (средний уклон поверхности земли бассейна меньше 0,006) при площади бассейна:				
до 150 га	0,25—0,33	0,33—1	0,5—1,5	1—2
более 150 га . . .	0,33—0,5	0,5—1,5	1—2	2—3
Крутой рельеф (склоны, сочетание склонов с плоскими площадками и тальвеги) при площади бассейна:				
до 20 га	0,33—0,5	0,5—1,5	1—2	2—3
от 20 до 50 га . .	0,5—1	1—2	2—3	3—5
» 50 » 100 » . .	2—3	3—5	5	5—10
более 100	5	5	10	10—20

Примечание. q_{20} — интенсивность дождя, л/(с·га), продолжительностью 20 мин при p = =1 год.

Правильный выбор значения p при проектировании водостоков имеет существенное значение. Чем больше будет принято значение p, тем бóльших размеров получатся водостоки, но тем реже возможны случаи затопления территории. Для экономического обоснования значения p требуется отчетливое представление о последствиях, которые могут быть вызваны переполнением сети, и о связанных с этим убытках. Исходя из этого для населенных пунктов, а также для промышленных площадок, где частое переполнение сети не вызывает серьезных последствий, период однократного переполнения назначается от 0,3 до 1 года (при плоском рельефе). При больших уклонах местности и в котловинах период однократного переполнения для населенных пунктов и для промышленных предприятий, имеющих подвальные помещения с ценным оборудованием, затопление которого может повлечь за собой большие убытки, следует назначать равным 5—10 лет и более.

Период однократного переполнения сети принимают по СНиП, в которых в зависимости от характера канализуемого объекта (магистральные улицы, центральные площади), топографических особенностей местности, площади бассейна и величины интенсивности дождя подсчитаны значения p для населенных пунктов (табл. 3.20).

§ 62. РАСШИФРОВКА ЗАПИСЕЙ ВЫПАВШИХ ДОЖДЕЙ

Данные, записанные дождемером, должны быть надлежащим образом обработаны. При дождемерах обычного типа, определяющих только объем выпавших атмосферных осадков, обработка заканчивается определением среднегодового слоя осадков в миллиметрах. Но такие материалы, даже если они охватывают многолетний период наблюдений (20—50 лет), дают лишь примерные исходные данные. В основу их положено предположение, что чем больше годовой слой осадков, тем больше вероятность выпадения дождей значительной интенсивности. Однако это предположение не вполне подтверждается современными исследованиями.

В настоящее время на территории СССР имеется широкая сеть метео-

Таблица 3.21

Пример расшифровки записи дождемера

Продолжительность дождя, мин	Высота слоя осадков, мм	Интенсивность дождя		Продолжительность дождя, мин	Высота слоя осадков, мм	Интенсивность дождя	
		мм/мин	л/(с·га)			мм/мин	л/(с·га)
5	2,7	0,54	90	30	5,15	0,176	29
10	3,6	0,36	60	35	5,4	0,154	26
15	4,2	0,28	47	40	5,7	0,143	24
20	4,65	0,233	39	45	5,75	0,128	21
25	4,95	0,198	33	50	5,8	0,116	19

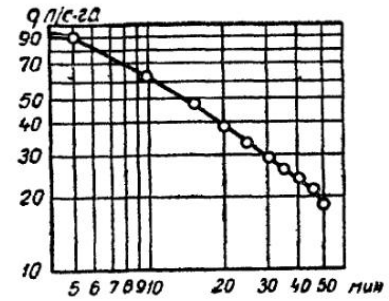


Рис. 3.62. Зависимость интенсивности дождя от его продолжительности

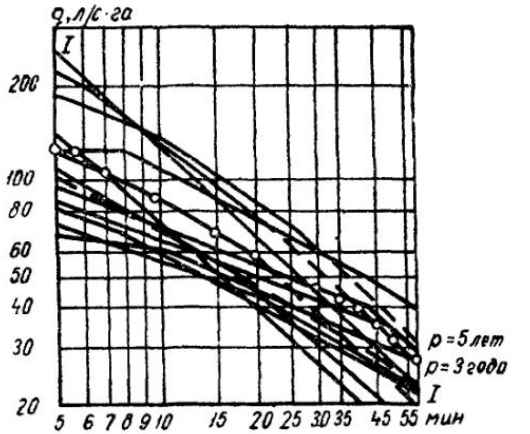


Рис. 3.63. Линии расчетных интенсивностей

рологических станций, на которых установлены самопишущие дождемеры, регистрирующие интенсивность и продолжительность дождей. Для расчета дождевой сети нужно в первую очередь использовать эти данные при условии, если они охватывают период не менее 15 лет.

Существуют различные способы расшифровки записей дождемеров. Наиболее употребителен способ, разработанный Ленинградским научно-исследовательским институтом Академии коммунального хозяйства (ЛНИИ АКХ). Он состоит в следующем. Для каждого дождя находят максимальную интенсивность, соответствующую различным, заранее заданным промежуткам времени (5, 10, 15, 20 мин и т. д.) в начале, середине или конце дождя, и устанавливают зависимость между интенсивностью и продолжительностью в пределах каждого дождя.

Работа по расшифровке заканчивается заполнением формы, которая характеризует весь процесс выпадения дождя (табл. 3.21).

Более наглядно этот процесс может быть изображен графически с применением логарифмической сетки. В этом случае в логарифмических координатах откладывают время выпадения дождя по оси абсцисс, а интенсивность — по оси ординат и получают зависимость интенсивности дождя от его продолжительности в виде ломаной линии (рис. 3.62).

Для упрощения можно находить три-четыре характерных точки линии.

При изучении дождей, выпадающих в какой-либо местности, указанным способом расшифровывают запись на ленте самопишущих дождемеров для наиболее интенсивных дождей, и результаты расшифровки наносят на одну логарифмическую сетку. Это дает возможность найти закономерность выпадения дождей в данной местности, установив зависимость интенсивности дождя от его продолжительности при любой повторяемости дождей.

На рис. 3.63 обработанные данные о выпадении дождей за 20 лет

нанесены на логарифмическую сетку. Как уже было указано, закономерность каждого выпавшего дождя представлена здесь ломаной линией. Примем период однократного переполнения $p=5$ годам и определим соответствующую ему интенсивность. Допустимое число превышений искомой расчетной интенсивности при дождях любой продолжительности в течение 20 лет будет равно: $20:5=4$.

Отсчитав по графику для каждой продолжительности четыре линии сверху, соответствующие четырем дождям, интенсивность которых превышает расчетную, получим на пятой линии ряд точек, определяющих расчетные интенсивности дождей, которые будут превышены в 4 раза за 20-летний период и отвечают, таким образом, принятому периоду однократного превышения — 5 лет.

Как видно из рис. 3.63, эти точки располагаются на линии, близкой к прямой. Уравнение этой линии, выражающее интенсивность дождя q, л/(с·га), в функции его продолжительности t, и даст нам требуемую зависимость.

Для каждой точки с координатами $\lg t$ и $\lg q$, лежащей на линии с углом наклона α (обозначаем $n=\operatorname{tg}\alpha$) и начальной ординатой прямой $I—I$ $\lg A$ (в данном случае при $t_1=5$ мин), можно написать уравнение

$$\lg q = \lg A - n \lg t, \tag{3.54}$$

откуда

$$q = A/t^n. \tag{3.55}$$

Величины A и n можно найти графическим способом, проводя среднюю линию по точкам, найденным на основании записей дождемеров, нанесенных на логарифмическую сетку, и тогда для любого значения t_2 можно определить величину q.

Однако обычно точки не располагаются на одной прямой. Тогда величины A и n можно определить по способу наименьших квадратов, пользуясь формулами:

$$n = \frac{\Sigma \lg q_i \, \Sigma \lg t_i - m\Sigma \lg q_i \lg t_i}{m\Sigma \lg^2 t_i - (\Sigma \lg t_i)^2} \tag{3.56}$$

и

$$\lg A = \frac{\Sigma \lg q_i + n\Sigma \lg t_i}{m}, \tag{3.57}$$

где m — число найденных точек;

q_i и t_i — интенсивность дождя, л/(с·га), и продолжительность его, мин, соответствующие найденным точкам.

Аналогичным образом можно найти величины A и n для любого другого значения p.

§ 63. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОЖДЯ

Для расчета дождевой сети прежде всего необходимо найти расчетный расход дождевых вод. С этой целью нужно установить зависимость между расчетной интенсивностью и расчетной продолжительностью дождя.

В настоящее время методику получения формул для расчета интенсивности дождей принимают в зависимости от следующих условий района, для которого проектируются водостоки:

1) имеются данные только о среднегодовом слое выпавших осадков или же наблюдений (менее 15 лет), что недостаточно для вывода расчетной формулы;

2) имеется большое число наблюдений на метеорологической станции за длительный период и с помощью расшифровки записей дождей может быть получена расчетная формула для данного района.

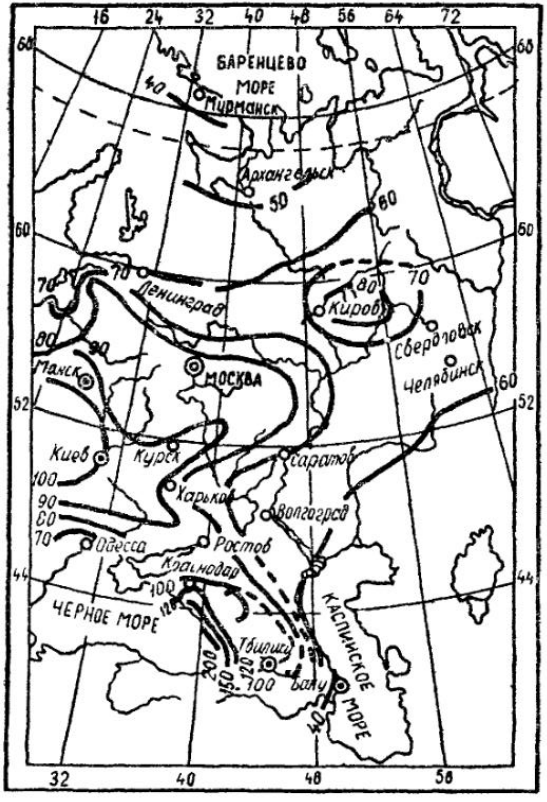


Рис. 3 64. Значения q_{20} для европейской территории СССР

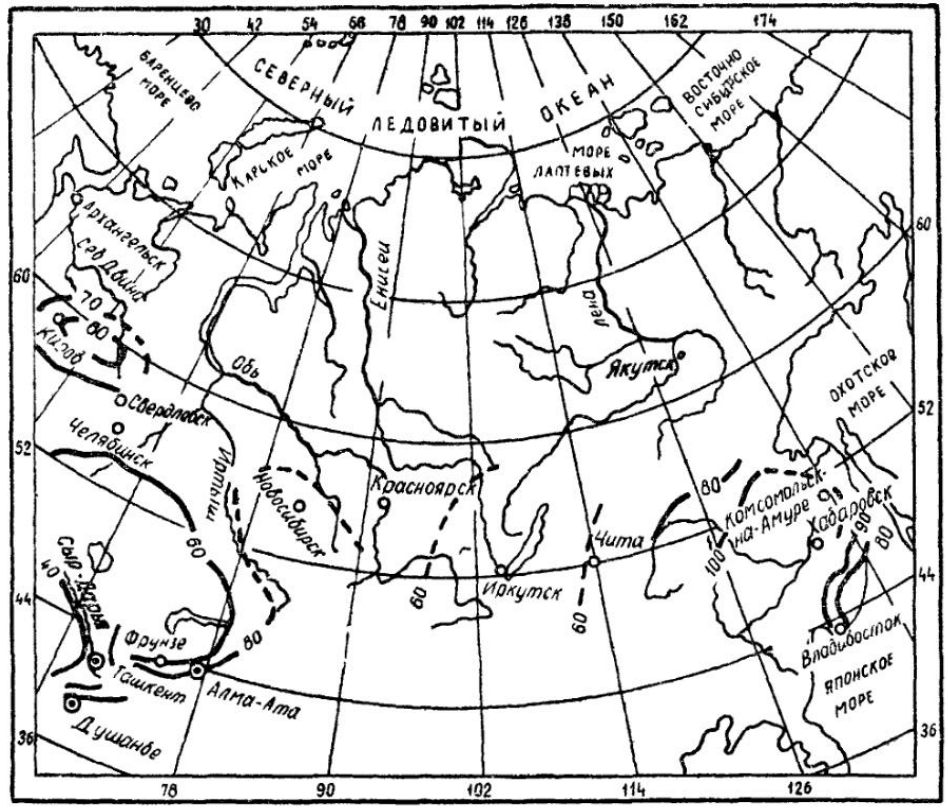


Рис. 3 65. Значения q_{20} для азиатской территории СССР

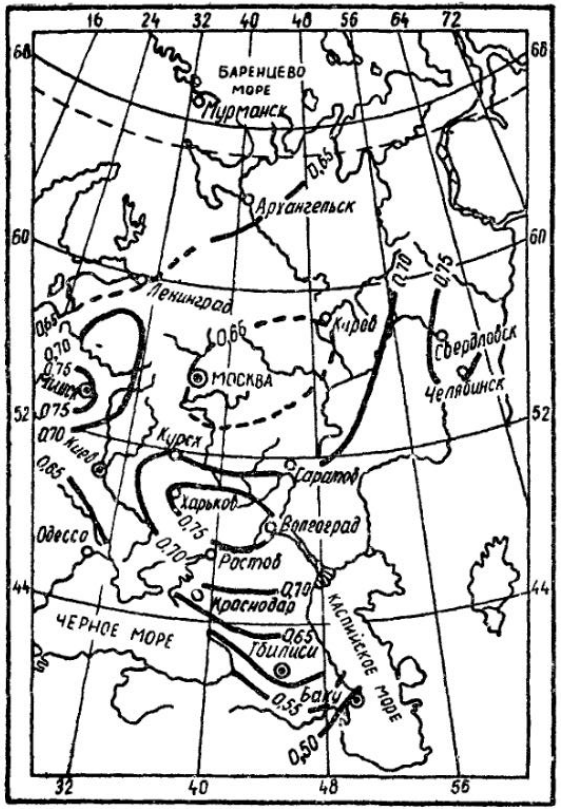


Рис. 3.66. Значения параметра n для европейской территории СССР

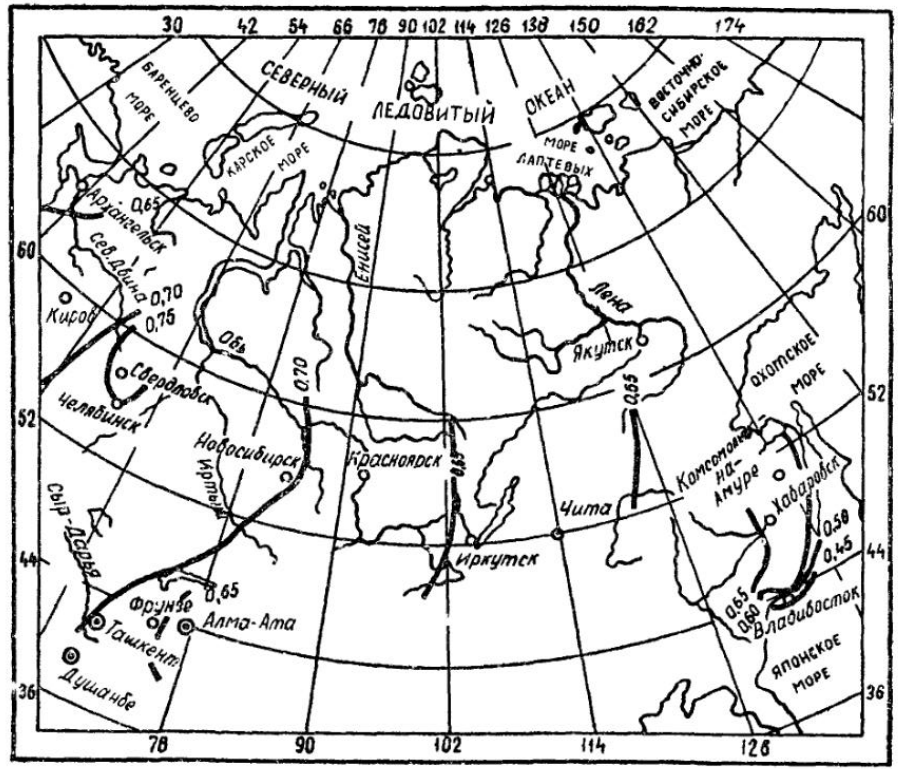


Рис. 3.67. Значения параметра n для азиатской территории СССР

Для первого случая долгое время использовался предложенный проф. П. Ф. Горбачевым метод, в основу которого были положены данные о среднегодовых количествах осадков.

Однако анализ значений расчетных интенсивностей, полученных по формуле П. Ф. Горбачева, показывает, что эти значения на 20—50% превышают фактические, вследствие чего применение этой формулы не может быть рекомендовано.

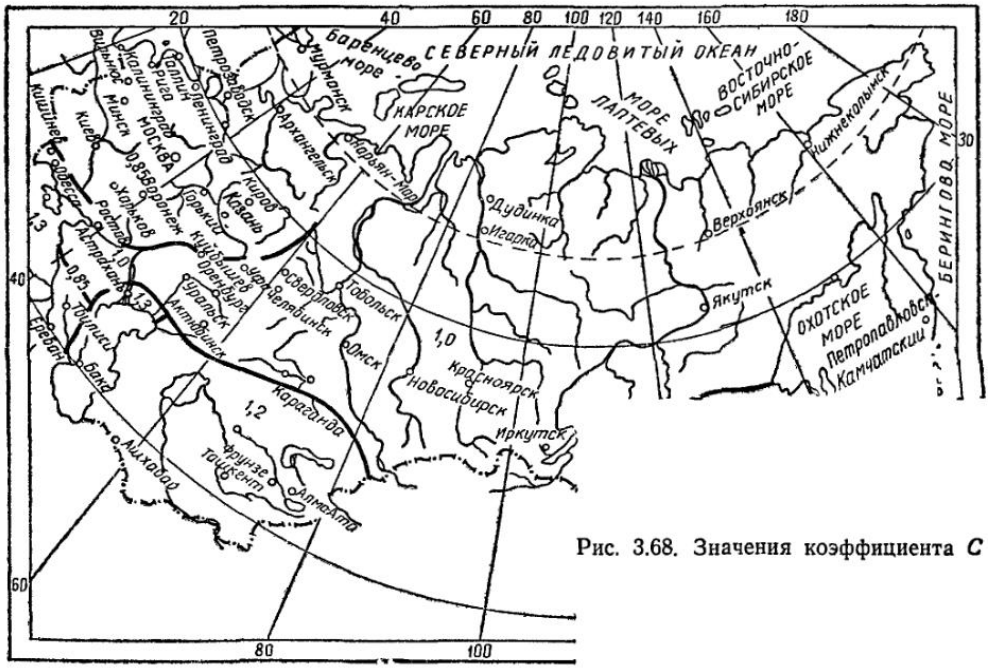


Рис. 3.68. Значения коэффициента C

При отсутствии самопишущих дождемеров рекомендуется способ определения расчетных интенсивностей q, л/(с·га), по формуле ЛНИИ АКХ:

$$q = \frac{20^n q_{20} (1 + C \lg p)}{t^n}, \tag{3.58}$$

где t — продолжительность дождя, мин;

p — период однократного переполнения сети, годы;

q_{20} — интенсивность дождя, л/(с·га), для данной местности продолжительностью 20 мин и повторяемостью один раз в год;

n и C — величины, зависящие от географического положения района.

Значения q_{20} и n находят по картам изолиний (рис. 3.64—3.67), а величину C — по карте, приведенной на рис. 3.68.

Если район проектируемых водостоков не охвачен изолиниями, то значения q_{20} определяют по формуле

$$q_{20} = 0{,}071 H \sqrt{d_в}, \tag{3.59}$$

где H — среднегодовая высота слоя атмосферных осадков, мм;

$d_в$ — средневзвешенный дефицит влажности, вычисляемый по среднемесячной высоте слоя атмосферных осадков за период выпадения дождей, мм.

Таблица 3.22

Значение коэффициента η

Площадь стока, га	η	Площадь стока, га	η
300	0,96	2000	0,87
500	0,94	3000	0,83
1000	0,91	4000	0,8

Рассмотренные формулы применимы для дождей продолжительностью от 5 мин до 2 ч. Для более продолжительных дождей с периодом однократного переполнения $p \geqslant 10$ лет (например, для расчета искусственных городских сооружений) расчетную интенсивность следует определять по способу Дорожного научно-исследовательского института (ДорНИИ).

Для второго случая, т. е. когда имеется достаточное число наблюдений за выпадением дождей, применяют формулу (3.55).

Величины A и n зависят от географического положения объекта канализования и определяются, как было указано выше, в результате расшифровки дождей графическим или аналитическим путем. Например, при периоде однократного переполнения $p=1$ год

$$q = 402/t^{0,64}. \tag{3.60}$$

Эти зависимости справедливы для случая равномерной интенсивности дождя по всей территории бассейна. В действительности интенсивность дождя в разных пунктах различна. Неравномерность выпадения дождя по площади бассейна может быть определена коэффициентом η, обозначающим отношение средней интенсивности дождя по площади к максимальной интенсивности в одном из пунктов рассматриваемой площади. При небольших площадях бассейна (до 300 га) неравномерность выпадения дождя по площади очень незначительна и коэффициент η может быть принят равным единице. Для площадей бассейнов более 300 га коэффициент η можно определить по табл. 3.22.

§ 64. КОЭФФИЦИЕНТ СТОКА

Дождевая вода, выпавшая на поверхность земли, стекает по склону местности, однако часть ее просачивается в грунт, а часть испаряется.

Обозначим объем выпадающей дождевой воды в единицу времени на единицу площади через $q_в$, а объем дождевой воды, стекающей в единицу времени с той же площади, через $q_с$; тогда получим:

$$q_с = \Psi q_в, \tag{3.61}$$

где Ψ — коэффициент стока.

Коэффициент стока зависит от рода поверхности (растительный слой, булыжная или асфальтовая мостовая, газоны и пр.), рельефа местности, а также от интенсивности дождя и его продолжительности. Проф. Н. Н. Беловым на основании проведенных под его руководством исследований для определения коэффициента стока было предложено уравнение

$$\Psi = zq^{0,2}t^{0,1}, \tag{3.62}$$

где z — эмпирический коэффициент, характеризующий вид поверхности бассейна стока, так называемый коэффициент покрова;

q — интенсивность дождя, л/(с·га);

t — продолжительность дождя, мин.

Значения коэффициентов z и Ψ приведены в табл. 3.23 и 3.24.

Таблица 3.23

Значения коэффициентов z и Ψ для разных поверхностей

Поверхности	z	Ψ
Кровли и асфальтобетонные покрытия . . .	По табл. 3.24	0,95
Брусчатые и черные щебеночные покрытия	0,224	0,6
Булыжные мостовые	0,145	0,45
Щебеночные, не обрабатываемые вяжущими материалами покрытия	0,125	0,4
Гравийные садово-парковые дорожки . . .	0,09	0,3
Грунтовые поверхности (спланированные) .	0,064	0,2
Газоны	0,038	0,1

Таблица 3.24

Значение коэффициента z для водонепроницаемых поверхностей в зависимости от n и A

Параметр n, определяемый по рис. 3.66 и 3.67	z при значениях A								
	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1500
Менее 0,65 . .	0,32	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23
0,65 и более . .	0,33	0,31	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24

При составлении проектов приходится иметь дело с различными видами поверхностей, с которых дождевая вода поступает в водостоки. Для упрощения подсчетов обычно находят средневзвешенное значение коэффициентов покрова $z_{ср}$ проектируемого объекта. Этот коэффициент определяют умножая долю площади каждого вида покрытия на соответствующий коэффициент покрова; сумма полученных произведений дает средневзвешенное значение коэффициентов покрова $z_{ср}$. В качестве примера в табл. 3.25 дано определение средневзвешенного коэффициента покрова $z_{ср}$, который для данного частного случая оказался равным 0,1769.

Таблица 3.25

Определение средневзвешенного коэффициента покрова $z_{ср}$

Покрытие	Доля площади покрытия от общей площади	Коэффициент z	Частное значение коэффициента $z_{частн}$
Под застройкой . . .	0,36	0,305	0,1098
» дворами	0,27	0,125	0,0338
» проездами . . .	0,08	0,145	0,0116
» тротуарами . . .	0,04	0,305	0,0122
» зелеными насаждениями	0,25	0,038	0,0095
Итого . . .	—	—	$z_{ср}$=0,1769

Величина Ψ может приниматься постоянной, если водонепроницаемые поверхности крыши и асфальтовые покрытия составляют более 30% бассейна стока.

§ 65. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ДОЖДЕВОЙ ВОДЫ

Для определения размеров труб и водосточных каналов необходимо знать расчетный максимальный расход дождевой воды, поступающей в сеть. Этот расход зависит от принятой расчетной интенсивности дождя, его продолжительности, коэффициента стока и площади водосбора, с которого поступает сток.

Если известны площадь водосбора F_1, с которой сток поступает в водосточный канал, и коэффициент стока Ψ, то расчетный расход дождевых вод, л/с, в сечении $I—I$ (рис. 3.69) может быть получен по формуле

$$Q'_{\text{р}} = \Psi q F_1 = \Psi \frac{A}{t^n} F_1. \tag{3.63}$$

Площадь F_1 определяют по плану, а коэффициент Ψ и параметры A и n в каждом случае в зависимости от местных условий — по одному из способов, указанных выше.

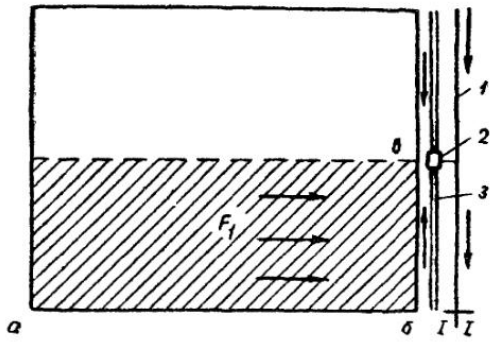


Рис. 3.69 Схема для расчета притока дождевой воды

1 — водосток; *2* — дождеприемник; *3* — лоток

Таким образом, для определения расчетного расхода в сечении $I—I$ необходимо правильно назначить расчетную продолжительность дождя.

В начале дождя к расчетному сечению водостока вода поступает лишь с ближайшей площади; по мере выпадения дождя вода поступает все с бóльших и бóльших площадей стока, а через некоторый промежуток времени начинает поступать со всей расчетной площади F_1. Ввиду этого, учитывая, что интенсивность дождя не является постоянной, а меняется обратно пропорционально его продолжительности (в степени n), к расчетному сечению могут притекать различные объемы воды.

При проектировании водостоков принимают, что продолжительность расчетного дождя t равна времени добегания выпавшей капли от наиболее удаленной точки площади стока до расчетного сечения; при этом условии расчетный расход в сечении водостока получается наибольшим. Полученная продолжительность выпадения дождя называется критической $t_{\text{кр}}$. Метод определения расчетных расходов указанным способом носит название метода предельных интенсивностей. Критическая продолжительность дождя, мин, слагается из трех величин (см. рис. 3.69):

1) времени добегания капли от границы участка до уличного лотка — так называемого времени поверхностной концентрации $t_{\text{п}}$ (от точки $а$ до точки $б$);

2) времени добегания капли по уличному лотку $t_{\text{л}}$ до ближайшего дождеприемника (от точки $б$ до точки $в$);

3) времени добегания капли по водостоку $t_{\text{в}}$ от дождеприемника до расчетного сечения $I—I$. Таким образом,

$$t_{\text{кр}} = t_{\text{п}} + t_{\text{л}} + t_{\text{в}}. \tag{3.64}$$

Кроме описанного метода для определения расчетных расходов существуют и другие. В частности, в некоторых случаях для простоты расчета интенсивность дождя принимают постоянной, но, учитывая,

что не вся вода с бассейна стока одновременно попадает в рассматриваемое сечение, вводят коэффициент замедления стока. Однако этот способ, как и некоторые другие, не получил распространения.

В практике расчетов водостоков могут встретиться случаи, когда определенный по критической продолжительности дождя расход для всей площади стока будет меньше фактического максимального расхода, поступающего в рассматриваемое расчетное сечение, например: при сложной конфигурации площади стока; при неравномерном распределении застройки площади; при резких колебаниях уклонов на площади стока.

Во всех этих случаях необходимо производить поверочные подсчеты с целью выявления действительного максимально возможного расхода дождевых вод, вводя в расчет не всю площадь стока, а только некоторую ее часть. При этом, если расход с части бассейна получится больший, чем со всей площади, то его вводят и в расчет как максимальный.

§ 66. РАСЧЕТНАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ДОЖДЯ

Отдельные слагающие расчетной продолжительности дождя определяются следующим образом.

Время поверхностной концентрации $t_п$ зависит от длины L, площади водосбора F, рельефа местности, интенсивности выпадения дождя i, рода поверхности, характеризуемого коэффициентом покрова, и др. Для определения времени поверхностной концентрации Л. Т. Абрамов на основании исследований, проведенных им на опытных площадках стока с поверхностями различного рода и разными уклонами, предложил формулу

$$t_п = \frac{1{,}5n^{0{,}6}\,L^{0{,}6}}{z^{0{,}3}\,i^{0{,}5}\,I^{0{,}3}}, \qquad (3.65)$$

где $t_п$ — время добегания, мин;
n — коэффициент шероховатости;
L — длина пути стока, м;
z — коэффициент покрова;
i — интенсивность дождя, мм/мин;
I — уклон поверхности.

Формула (3.65) может быть рекомендована для практического использования, однако надо иметь в виду, что она получена для правильно спланированных поверхностей без лотков.

Вычисления по формуле значительно облегчаются при применении номограмм.

Многочисленными подсчетами установлено, что в городских условиях среднее время добегания воды по поверхности колеблется в пределах от 5 до 10 мин, вследствие чего по СНиП рекомендуется величину $t_п$ назначать в населенных пунктах:

а) при внутриквартальной закрытой дождевой сети — 5 мин;

б) при отсутствии внутриквартальной закрытой сети — не менее 10 мин.

Для малых микрорайонов $t_п$ определяется расчетом как сумма времени притока по спланированной территории площадок или двора (2—3 мин), по лоткам внутриквартальных проездов и закрытой внутриквартальной сети.

Время добегания, с, по уличным лоткам следует определять по формуле

$$t_л = 1{,}25\,\frac{l_л}{v_л}, \qquad (3.66)$$

где $l_л$ — длина лотка, м;

$v_л$ — скорость течения воды в конце лотка, м/с;

1,25 — коэффициент, учитывающий постепенное нарастание скоростей.

Расход дождевой воды, поступающей в водосточную сеть, не сразу достигает расчетной величины, и вначале водосток имеет почти нулевое заполнение, если в нем не протекают условно чистые воды. Для полного заполнения требуется некоторый промежуток времени. В этот период происходит явление некоторого торможения движения воды в коллекторе. Поэтому при определении размеров коллектора по времени концентрации $t_{кр}$, соответствующему скоростям при полном заполнении, получается некоторый запас, так как практически время добегания воды будет больше, чем при полном заполнении. Проф. А. С. Сурин предложил учитывать это время вводя в расчет поправочный коэффициент к времени добегания воды по водостоку, равный 1,2.

Следует также иметь в виду, что при определенных условиях переполнения режим работы водосточной сети будет напорным и скорость движения воды в водостоке будет несколько выше, чем при самотечном режиме.

Условия напорности учитывают вводя некоторый поправочный коэффициент на время пробега воды по водостоку. Таким образом, сумму коэффициентов торможения и напорности при плоском рельефе принимают равной 2* и время пробега воды по водостоку до расчетного сечения определяют по формуле

$$t_в = 2\Sigma \frac{l_{тр}}{v_{тр}}, \tag{3.67}$$

где $l_{тр}$ — длина отдельных участков коллектора, м;

$v_{тр}$ — расчетные скорости течения в соответствующих участках, м/с.

Таким образом, продолжительность дождя в конечном итоге определяется формулой

$$t_{кр} = t_п + 1{,}25 \frac{l_л}{v_л} + 2\Sigma \frac{l_{тр}}{v_{тр}}. \tag{3.68}$$

Формулы расчетного стока дождевых вод окончательно имеют вид при коэффициентах стока:

переменном

$$Q_р = \frac{z_{ср}\, \eta A^{1,2}\, F}{(t_п + t_л + \Sigma t_в)^{1,2n-0,1}}; \tag{3.69}$$

постоянном

$$Q_р = \frac{\Psi_{ср}\, \eta A F}{(t_п + t_л + \Sigma t_в)^n}, \tag{3.70}$$

где n и A — параметры формул интенсивности; причем, как следует из предыдущих формул,

$$A = 20^n q_{20} (1 + C \lg p); \tag{3.71}$$

η — поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя по площади при $F \geqslant 300$ га;

F — расчетная площадь, га.

Остальные обозначения прежние.

---

* При уклонах местности более 0,005 допускается снижать этот суммарный коэффициент до 1,2.

К расчету сети можно перейти после окончания всей подготовительной работы, заключающейся в трассировке сети, определении расчетных участков, нахождении их площадей водосбора, определении коэффициента покрова z, выборе расчетной формулы и пр. Для населенных мест граница расчетных участков определяется обычно осями улиц или расположением дождеприемников.

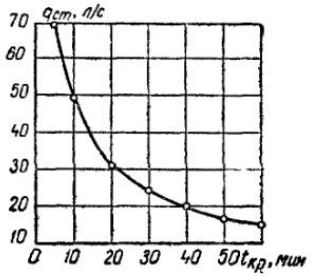


Рис. 3.70. Зависимость $q_{ст}=f(t_{кр})$

Результаты подсчета площадей стока сводят в ведомость.

Расчет водостоков ведут по одному из описанных выше методов. Наиболее часто расчетные расходы определяют по методу ЛНИИ АКХ.

В зависимости от местных условий и экономических соображений назначают период однократного переполнения сети p, находят параметры A и n, определяют средний коэффициент покрова $z_{ср}$ или коэффициент стока Ψ и в зависимости от площадей водосбора, а также от изменяющейся для каждого расчетного сечения $t_{кр}$ определяют соответствующие расчетные расходы воды.

Для упрощения расчетов пользуются графиками (рис. 3. 70), выражающими зависимость $q_{ст}=f(t_{кр})$ и составляемыми на основе характеристики проектируемого бассейна.

Определив расчетные расходы, подбирают диаметр трубопроводов по методике, применяемой при расчете бытовой сети.

Однако следует иметь в виду, что для водосточной сети наполнение трубопроводов дождевой водой при расчетном расходе по возможности должно приближаться к полному.

Пример записей при расчете водостока дан в табл. 3.26.

Таблица 3.26

Форма для записи гидравлического расчета водостоков

№ участка	Длина участка l, м	Площадь стока, га			Скорость течения v, м/с	Время протекания t, мин	Интенсивность $q_{ст}$, л/(с·га)	Расчетный расход $q_р$, л/с	Диаметр труб, мм
		данного участка F	лежащая выше	расчетная					
1—2	450	5,53	—	5,53	0,71	10,6	32	177	500

Продолжение табл. 3.26

Уклон труб i	Падение уровня на участке, м	Отметки, м						Глубина заложения, м	
		поверхности земли		шелыги трубы		лотка трубы			
		в начале участка	в конце участка	в начале	в конце	в начале	в конце	в начале	в конце
0,0025	1,13	124,7	123,9	123,7	123,57	123,2	122,07	1,5	1,83

При выпадении дождей с интенсивностью выше расчетной и переполнении дождевой сети уровень воды в колодцах водосточной сети будет подниматься. Столб воды, образованный в верховом колодце, создаст дополнительный напор, который будет способствовать повышению пропускной способности водосточного коллектора. Иногда это повышение может быть весьма значительным (в 2—3 раза против самотечного режима).

Степень повышения пропускной способности труб при напорном движении может быть получена из зависимости

$$\frac{Q_н}{Q_с} = \sqrt{\frac{I_о}{I_{тр}}} = \sqrt{\frac{(H+h)/l}{h/l}} = \sqrt{\frac{H}{h}+1}, \qquad (3.72)$$

где $Q_н$ и $Q_с$ — максимальная пропускная способность труб соответственно при напорном и самотечном режимах, м³/с;

$I_о$ — общий уклон, равный $(H+h)/l$;

$I_{тр}$ — уклон трубы поверху (по шелыге), равный h/l;

l — длина коллектора, м;

H — глубина заложения трубы (до верха в начале коллектора), м;

h — разность отметок верха труб в начале и в конце коллектора, м.

Впервые расчет дождевой сети, работающей под напором, предложен проф. Н. Н. Беловым, который разработал два метода ее расчета.

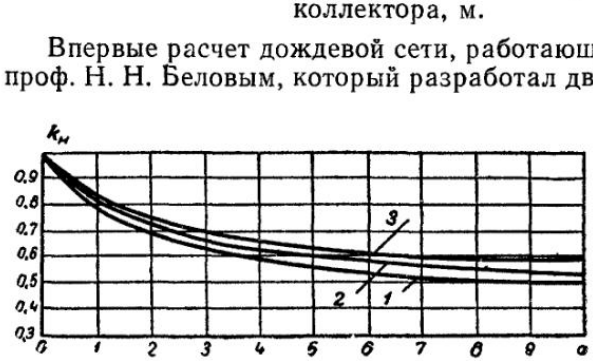


Рис. 3.71. Кривые для определения коэффициента напорности

1 — при $n=0{,}55$; *2* — при $n=0{,}65$; *3* — при $n=0{,}75$

Практическое применение получил первый, более простой, метод. По этому методу сеть рассчитывают, как и при самотечном режиме, но на уменьшенные расходы с введением поправочного коэффициента $k_н$, носящего название коэффициента напорности. По уменьшенным расчетным расходам подбирают диаметры трубопровода. В этом случае действительные (неуменьшенные) расчетные расходы будут отведены коллектором при напорном режиме.

Коэффициент напорности $k_н$ коллектора определяют по формуле

$$k_н = \frac{1}{\sqrt{a+1}}\left[\frac{(a+1)^{3/2}-1}{1{,}5a}\right]^n \qquad (3.73)$$

где $a = H/h$ (H — начальное заглубление шелыги коллектора; h — разность отметок коллектора на расчетном участке длиной l);

n — показатель степени в общей формуле (3.55).

Общий расчетный расход при напорном режиме выражается уравнением

$$Q_н = k_н qF, \qquad (3.74)$$

где q — интенсивность дождя, определяемая ранее указанным способом;

F — расчетная площадь.

Коэффициент $k_н$ можно также определять по рис. 3.71. Следует иметь в виду, что коэффициент напорности вводят в расчет водосточной сети при плоском рельефе местности, коллекторах небольшой протяженности и большом начальном их заглублении. В остальных случаях коэффициент напорности практически приближается к единице и потому в расчеты не вводится.

Вторым способом расчета водостоков при напорном режиме, разработанным Н. Н. Беловым, а также способами, предложенными другими авторами, в практике проектирования не пользуются.

§ 69. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СЕТИ ОБЩЕСПЛАВНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

При расчете общесплавной канализации (см. раздел первый) следует различать участки сети до ливнеспусков и после них. Расчет участков до ливнеспусков производится обычными методами, указанными выше.

Общий расчетный расход $Q_{общ}$ на любом участке общесплавной канализационной сети до первого ливнеспуска определяется как сумма бытового (хозяйственно-фекального) $Q_{хоз}$, производственного $Q_{пр}$ и дождевого $Q_{дожд}$ расходов:

$$Q_{общ} = Q_{хоз} + Q_{пр} + Q_{дожд}. \tag{3.75}$$

Общесплавную сеть следует проверять на расход в сухую погоду, т. е. на расход

$$Q_{сух} = Q_{хоз} + Q_{пр}.$$

При этом следует стремиться к тому, чтобы скорости в сети при пропуске этого расхода были не меньше допустимых для сети бытовых сточных вод.

Наличие ливнеспусков на общесплавной сети сильно влияет на ее гидравлический режим и значительно осложняет методику расчета сети.

В практике проектирования общесплавной канализации в настоящее время получил распространение метод расчета, разработанный ЛНИИ АКХ.

Он состоит в том, что количество дождевой воды, не сбрасываемой через ливнеспуски, определяется произведением расчетного расхода в сухую погоду на коэффициент разбавления n_0, т. е. $n_0(Q_{хоз}+Q_{пр})$. Если же расход превышает эту величину, то весь избыток сбрасывается по ливнеспуску в водоем. Расчетный же расход дождевых вод на участке коллектора после ливнеспуска определяется уравнением

$$Q_{дожд} = n_0 (Q_{хоз} + Q_{пр}) + Q_1, \tag{3.76}$$

где Q_1 — расход дождевых вод с площади, расположенной ниже ливнеспуска; этот расход определяют по времени стока, отвечающему лишь этой площади.

Полный расход на участке ниже ливнеспуска определяется по формуле

$$Q_{общ} = n_0 (Q_{хоз} + Q_{пр}) + Q_1 + (Q_{хоз} + Q_{пр}). \tag{3.77}$$

При этом следует иметь в виду, что весь расход сброса условно относится к дождевым водам, и поэтому расходы бытовых сточных вод суммируются без учета сброса на ливнеспуске.

Режим работы ливнеспусков (рис. 3. 72) определяется технико-экономическими и санитарными сооружениями. Из условий предохранения водоемов от загрязнения коэффициент разбавления n_0 желательно принимать возможно бóльшим, однако при этом возрастают размеры коллекторов и очистных сооружений.

Для выявления характеристики работы ливнеспуска можно воспользоваться формулами, предложенными ЛНИИ АКХ.

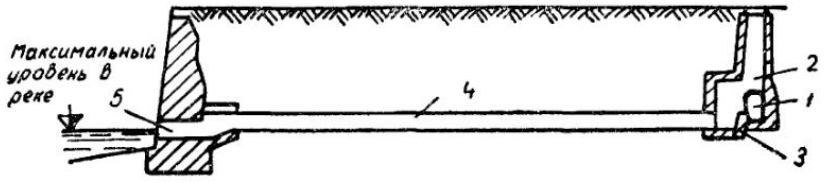


Рис. 3.72. Схема ливнеспуска

1 — береговой коллектор; *2* — камера ливнеспуска; *3* — водослив; *4* — ливнеотвод; *5* — устье ливнеотвода

Частота периодов работы ливнеспуска в течение года определяется по формуле

$$m_0 = \left[\frac{n_0}{S}(1 + C \lg p)(1 - \tau) + \tau\right]^{-3}, \qquad (3.78)$$

где n_0 — коэффициент разбавления;

S — отношение расчетного расхода дождевых вод к расходу в сухую погоду:

$$S = \frac{Q_{\text{дожд}}}{Q_{\text{хоз}} + Q_{\text{пр}}} = \frac{Q_{\text{дожд}}}{Q_{\text{сух}}};$$

C — коэффициент, входящий в формулу (3.58);

Таблица 3.27

Значения коэффициентов для определения показателей работы ливнеспусков для Европейской части СССР

m_0	k'	k''	$k_{\text{хоз}}$	$Q/Q_{\text{хоз}}$
1	1,26	0,03	0,012	0,162
2	2,56	0,07	0,027	0,176
3	3,84	0,11	0,043	0,181
4	5,2	0,15	0,059	0,188
5	6,55	0,2	0,076	0,195
7	9,31	0,29	0,113	0,207
10	13,5	0,47	0,117	0,221
15	20,9	0,79	0,287	0,237
20	28,4	1,19	0,416	0,249
25	36,5	1,72	0,581	0,267
30	45	2,3	0,748	0,281
35	53,2	2,92	0,927	0,287
40	63,2	3,82	1,15	0,305
45	72,9	4,81	1,38	0,313
50	82,5	5,74	1,58	0,319
55	94,6	7,37	1,94	0,337
60	106,8	8,98	2,25	0,34
65	119,6	11	2,6	0,359
70	134,4	13,3	3	0,376
75	150	16,4	3,48	0,387
80	166,4	19,7	3,94	0,394

p — принятый для расчета сети период однократного переполнения сети;

τ — параметр интенсивности, принимаемый равным 0,2.

Средняя годовая продолжительность работы ливнеспуска определяется по формуле

$$T_{\text{год}} = k' t_0, \tag{3.79}$$

где t_0 — расчетное время добегания воды до ливнеспуска, мин;

k' — коэффициент, зависящий от величин m_0 и τ.

Средний годовой объем сброса через ливнеспуск смеси сточных вод — дождевых, бытовых (хозяйственно-фекальных) и производственных — находят по следующим формулам:

$$W_{\text{см}} = n_0 Q_{\text{сух}} t_0 k''; \tag{3.80}$$

$$W_{\text{хоз}} = Q_{\text{сух}} t_0 k_{\text{хоз}}. \tag{3.81}$$

Значения коэффициентов k', k'', $k_{\text{хоз}}$ и $Q/Q_{\text{хоз}}$ можно получить из табл. 3. 27.

§ 71. НАЧЕРТАНИЕ ДОЖДЕВОЙ СЕТИ В ПЛАНЕ

Трассировку дождевой сети в основном следует производить в соответствии с указаниями, относящимися к бытовой канализации, с учетом, однако, специфических особенностей работы дождевой сети. Начертание последней в плане определяется рельефом местности, размером территории, схемой планировки, насыщенностью территории подземными трубопроводами и пр.

В целях уменьшения размеров каналов подземная водосточная сеть должна иметь выпуски в ближайшие водоемы, тальвеги и овраги.

Как правило, главные коллекторы бассейна следует трассировать по городским проездам. Исключение допускается в тех случаях, когда направление городских проездов не совпадает с тальвегом.

Трасса водостока на проезде должна быть расположена по возможности прямолинейно, параллельно красным линиям, с минимальным числом пересечений с другими подземными сооружениями. При ширине проезда до 30 м обычно укладывают один коллектор, при большей ширине могут быть уложены два коллектора по обеим сторонам проезда.

Дождевые и общесплавные коллекторы больших диаметров (более 2000 мм) могут быть заменены двумя параллельными коллекторами.

Как указывалось, водосточную сеть устраивают открытого, закрытого или смешанного типа. Открытую сеть устраивают для поселков и небольших городов; при большом количестве жителей устраивают сеть закрытого и смешанного типов. Обычно дождевые воды с территории кварталов и дворов при наличии поверхностного уклона к улице отводят открытой сетью лотков или кюветов. Закрытая дождевая сеть должна начинаться с места почти полного заполнения уличных лотков, так как иначе дождевая вода стала бы заливать тротуары. Исходя из этого место расположения начальных точек закрытой сети должно быть определено расчетом. Если дождевая сеть служит одновременно и для отвода производственных, условно чистых вод, очень часто расположение начальных участков сети диктуется местоположением производственных корпусов, от которых должны быть отведены условно чистые воды или дождевые воды, если в этих корпусах имеются внутренние водостоки.

Продольные профили дождевой сети составляются по такому же образцу, как и профили бытовой сети.

Дождевые воды, стекающие по поверхности земли, поступают в закрытую водосточную сеть через так называемые *дождеприемники.*

Дождеприемник — колодец, состоящий из съемной решетки, стакана и днища с лотком.

Конструкция дождеприемного колодца, разработанная для Москвы, с использованием унифицированных деталей показана на рис. 3.73.

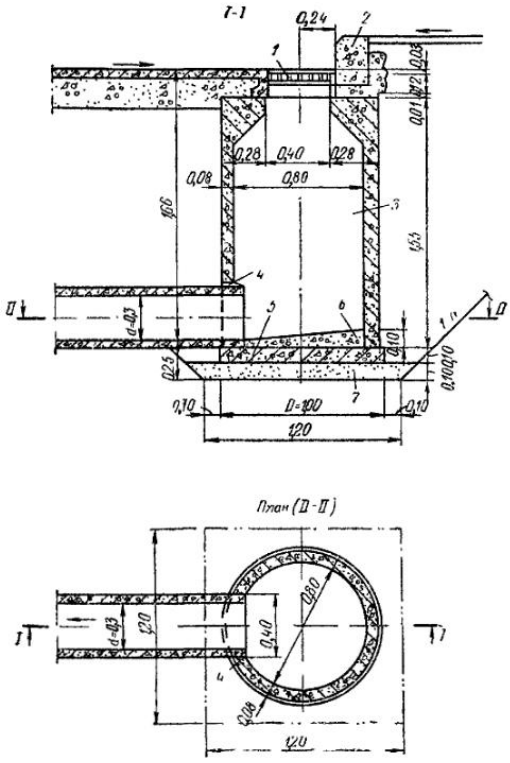


Рис. 3.73. Дождеприемный колодец из сборных железобетонных элементов московского типа

1 — дождеприемная решетка; *2* — бетонный борт; *3* — колодец; *4* — заделка отверстий бетоном марки 200; *5* — основание; *6* — лоток набивной из бетона марки 200; *7* — песчаная подушка

Дождеприемные колодцы, расположенные в лотках проезжей части, разделяются по конструкции на колодцы с приемной решеткой в плоскости проезжей части с отверстиями в вертикальной плоскости борта или в обеих плоскостях (рис. 3.74). Наибольшей приемной способностью обладают дождеприемники с приемными решетками в обеих плоскостях.

В плане дождеприемники имеют прямоугольную форму размером 0,6×0,9 м или круглую форму диаметром 0,8 м.

В некоторых городах дождеприемники ранее устраивали с осадочной частью. В настоящее время их рекомендуется устраивать без осадочной части. Глубина заложения основания дождеприемника без осадочной части, как правило, должна быть не менее 0,8 м. В пучинистых грунтах глубина заложения основания дождеприемника и отводной трубы не должна быть меньше средней глубины промерзания грунта.

Из дождеприемника дождевая вода поступает в закрытый водосток по соединительной ветке диаметром 200—300 мм, укладываемой в низовой части дождеприемника. Длина присоединения (ветка) от дождеприемника до первого смотрового колодца на коллекторе должна быть не более 40 м.

Дождеприемники следует размещать так, чтобы при расчетной интенсивности дождя тротуары не заливались водой.

Практикой эксплуатации городских дождевых сетей установлены следующие рекомендации для размещения дождеприемников в зависимости от уклона улиц и при отсутствии поступления дождевых вод с внутренней части кварталов. В среднем расстояния между дождеприемниками можно назначать при уклоне улиц:

До 0,004	50 м
От 0,004 до 0,006	60 »
» 0,006 » 0,01	70 »
Более 0,01	80 »

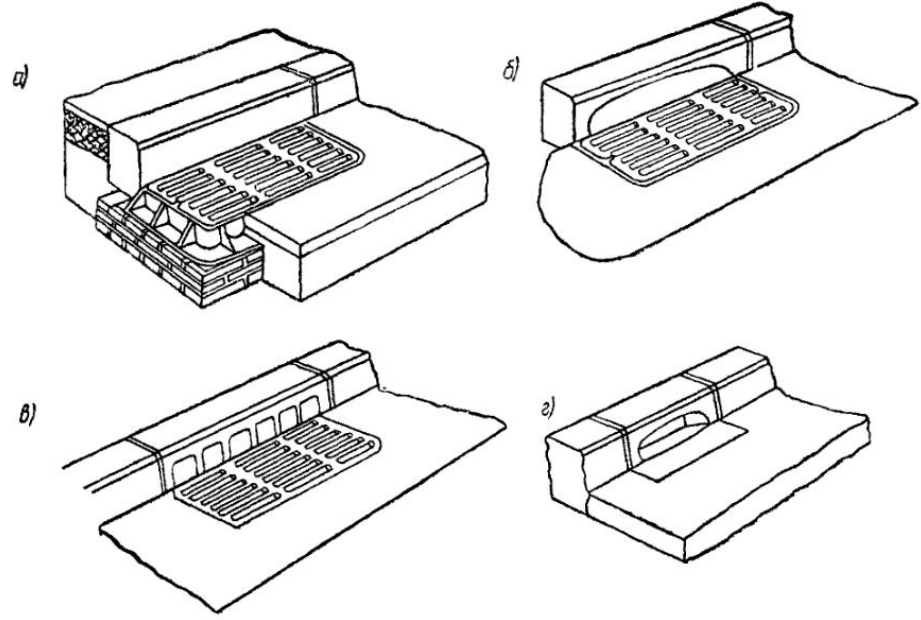


Рис. 3.74. Дождеприемные решетки

а — чугунная нормального типа; *б* — то же, с приемным отверстием в железобетонном борту; *в* — то же, с дополнительной чугунной приставкой (бортом); *г* — приемное отверстие борта без решетки

При поступлении дождевых вод поверхностным стоком с внутренней части кварталов расстояние между проектируемыми на улице дождеприемниками определяется гидравлическим расчетом уличных лотков.

При этом заполнение лотков проезжей части допускается на высоту, обеспечивающую незатопление подвальных этажей и входов зданий. Ширина потока определяется в зависимости от поперечного профиля проезда.

При неудачном расположении решеток часть воды не будет поступать в дождеприемники, а будет «проскакивать» мимо них. Чем больше продольный уклон улицы, тем больше воды проскакивает мимо решетки. Проскоки значительно уменьшаются, если решетки расположены на 2—5 см ниже дна лотка или поверхности мостовой. В местах приема большого количества дождевых вод или при уклоне проезжей части более 0,03 рекомендуется устанавливать дождеприемники с двумя решетками.

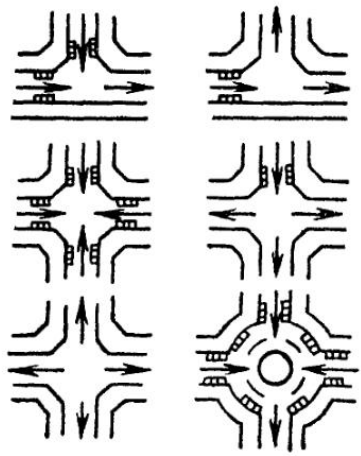


Рис. 3.75. Схемы размещения дождеприемников у перекрестков улиц

На рис. 3. 75 указаны схемы размещения дождеприемников у перекрестков улиц.

§ 73. ПЕРЕКАЧКА ДОЖДЕВЫХ ВОД

Вследствие большой стоимости устройства для перекачки дождевых вод насосных станций, работа которых к тому же может потребоваться только в течение нескольких дней или даже нескольких часов в году, к такой перекачке следует прибегать лишь в крайних случаях. Станции

перекачки устраивают, например, в тех случаях, когда какая-либо часть канализуемой территории обвалована для предотвращения ее затопления водами открытого водоема, если канализуемая территория расположена ниже горизонта воды в водоеме.

В основном станции перекачки дождевых вод мало отличаются от канализационных насосных станций. Поэтому отметим здесь лишь некоторые их особенности. При проектировании насосной станции нужно стремиться к максимальному упрощению ее конструкции. Для уменьшения размеров станции число насосных агрегатов должно быть не больше двух-трех. Так как высота перекачки дождевых вод обычно небольшая, то целесообразнее применять пропеллерные насосы с вертикальным валом. Последние устанавливаются обязательно под заливом, и работа их автоматизируется. Во избежание попадания в насосы крупных и тяжелых загрязнений желательна установка решеток с прозорами 40—60 мм.

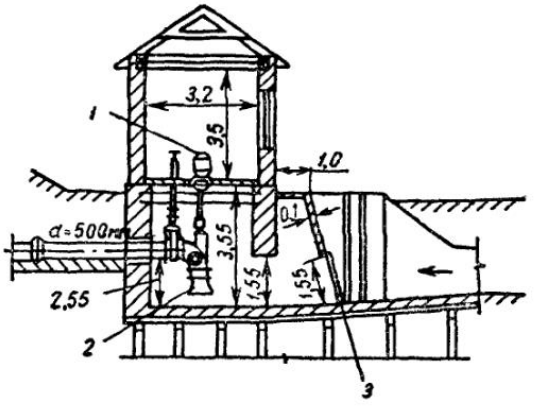


Рис. 3.76. Насосная станция с пропеллерными насосами для перекачки дождевых и грунтовых вод

1 — электродвигатель с вертикальным валом; *2* — пропеллерный насос; *3* — решетка

Сборный резервуар при насосной станции в некоторых случаях может быть рассчитан с учетом емкости собственно сети, так как при больших диаметрах дождевой сети и малых ее уклонах она сама до некоторой степени может служить запасной регулирующей емкостью, в которой накапливаются излишки дождевых вод. Для того чтобы можно было установить насосы с меньшей подачей, следует по возможности использовать в качестве регулирующих емкостей овраги, пруды и другие водоемы.

На рис. 3. 76 приведен пример насосной станции для перекачки дождевых и грунтовых вод из открытой сети. Станция полностью автоматизирована и оборудована двумя пропеллерными насосами подачей по 0,6 м^3/с, подающими воду на высоту 2 м в отводную канаву. Приемный резервуар устроен в виде пруда, периодически очищаемого от осадков (песка и земли).

§ 74. ВЫПУСК ДОЖДЕВЫХ ВОД

В местах выпусков водостока в естественный лог или в реку и в местах перехода труб в открытый канал устраивают выходные оголовки.

Размеры и конструкция оголовков могут быть самыми различными в зависимости от местных условий. Типовые конструкции выходных оголовков в лог разработаны для труб диаметром 0,3—0,5; 0,6—1; 1,2—1,5 и 1,7—2 м. Имеются конструкции оголовков из сборного и монолитного железобетона, а также из кирпича. Для оголовков из сборного железобетона предусмотрено шесть типоразмеров блоков. Эти конструкции разработаны для наиболее часто встречающихся случаев стока воды в лог или водоотводную канаву (рис. 3. 77).

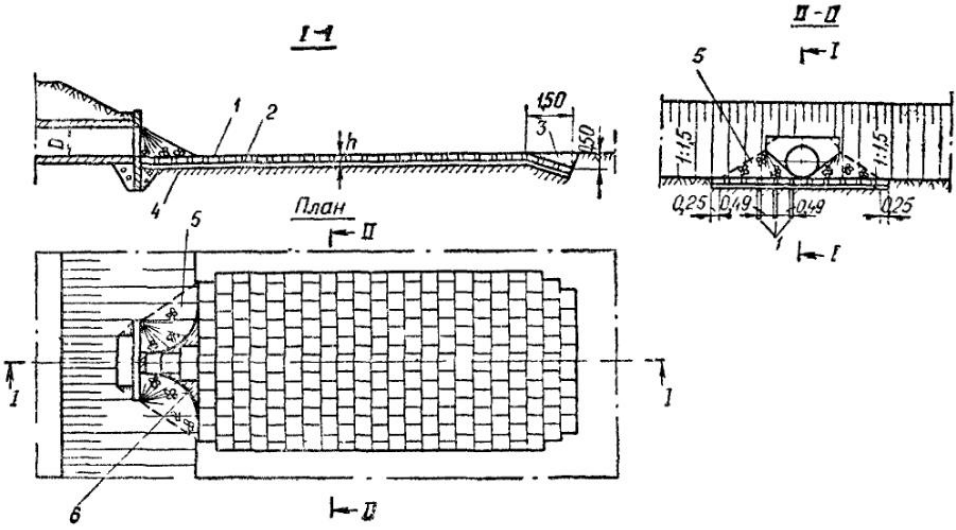


Рис 3.77. Выходной оголовок при выпуске в лог

1 — бетонные плиты толщиной 10 см; *2* — щебень или гравий крупностью 5—15 мм слоем *h*, *3* — засыпка грунтом, *4* — участок цементируемой мостовой при укладке камня, *5* — отмостка конусов камнем крупностью 16 см по щебню или гравию слоем *h*; *6* — просветы между плитами, заделываемые бетоном и камнем

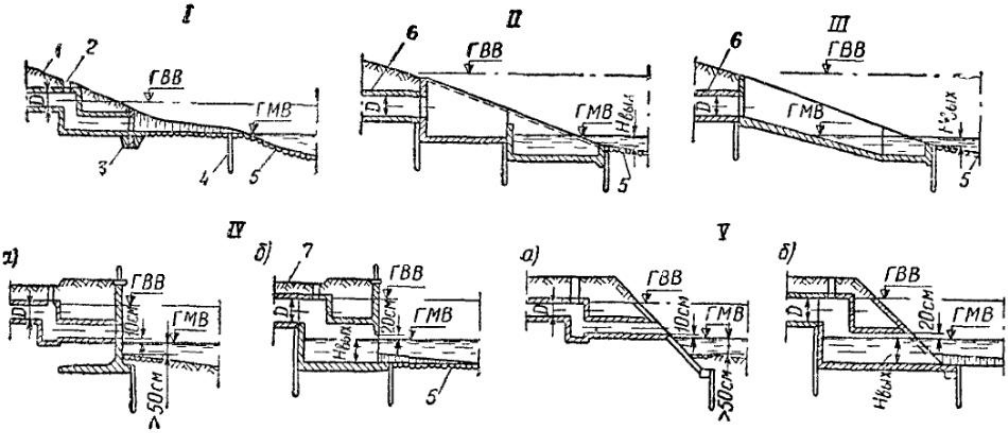


Рис. 3.78. Схемы сопряжений водостоков с рекой

I — с каналом ($Q<10$ м³/с); *II* — с перепадом ($Q>10$ м³/с), *III* — с быстротоком ($Q>10$ м³/с); *IV* — через подпорные стенки; *V* — через откосные укрепления; *а* — незатопленный выпуск ($Q<10$ м³/с), *б* — затопленный выпуск ($Q>10$ м³/с), *1* — водосток, располагаемый выше перепадного колодца и укладываемый на уровне ГВВ (расчетный), *2* — перепадный колодец, *3* — типовой оголовок, *4* — шпунтовое ограждение одежды канала; *5* — крепление русла реки; *6* — труба или канал, прокладываемые после перепадного колодца, *7* — верхняя образующая (шелыга) водостока

При выпуске водостока в естественные водоемы могут встретиться самые различные случаи сопряжения бьефов, поэтому здесь приводятся лишь возможные схемы устройства выпусков (рис. 3. 78), конструктивные чертежи которых разрабатываются каждый раз для конкретных условий в зависимости от различных местных условий.

Раздел четвертый
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Глава XIV
СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

§ 75. СОСТАВ 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.

К минеральным загрязнениям относятся 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, плодоовощей и злаков, бумага, масла́ (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 водам боен, кожевенных заводов, шерстомоек, биофабрик 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 бытовых сточных вод показано на рис. 4.1. Как видно из этого рисунка, 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. Наи-

более 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.

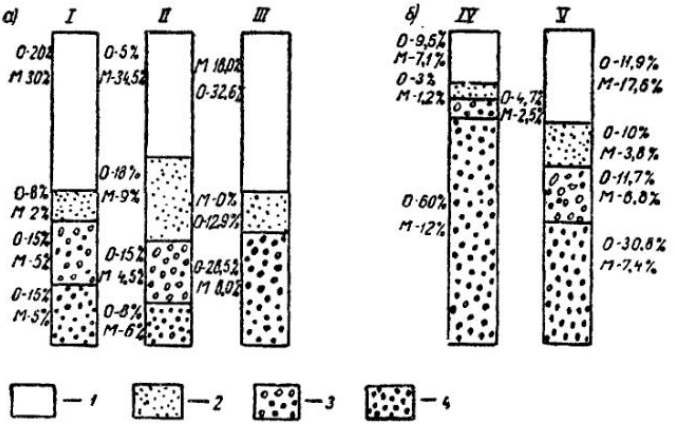


Рис. 4.1. Характеристика загрязнений сточных вод по данным различных исследований

а — сточные воды; *б* — сточные воды с размельченным мусором (по исследованиям ЛНИИ АКХ); *I* — по С. Н. Строганову; *II* — по ЛНИИ АКХ; *III* — по Н. Ф. Федорову; *IV* — из дворовых выпусков; *V* — из уличных коллекторов; *О* — органические вещества; *М* — минеральные вещества; *1* — растворенные вещества; *2* — коллоиды; *3* — суспензии; *4* — осаждающиеся взвешенные вещества

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.

§ 76. 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 35·1000/200= =175 до 50·1000/200=250 мг/л; при норме водоотведения 250 л — от 140 до 200 мг/л, а при норме 300 л — не более 167 мг/л.

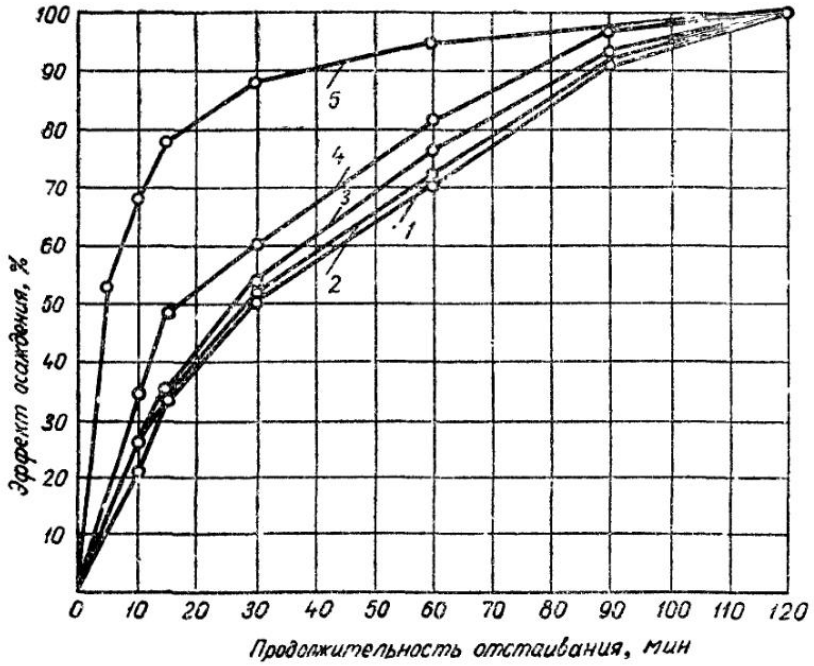


Рис. 42. Кривые осаждения взвешенных веществ, содержащихся в бытовых сточных водах

1 — при начальной концентрации осаждающихся взвешенных веществ 0,5—1,5 мл/л; *2* — то же, 1,6—2,5 мл/л; *3* — то же, 2,6—3,4 мл/л; *4* — то же, 3,5—4,7 мл/л; *5* — то же, 5,5—16,3 мл/л

При удалении части домового мусора путем дробления и сплава по канализационной 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) вместимостью 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 ч) отстаивания, так как в бытовых водах процесс осаждения практически заканчивается в течение этого времени. Эти проценты показывают эффект осаждения. Типичные для бытовых вод кривые осаждения взвешенных веществ в зависимости от их концентрации приведены на рис. 4.2.

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, и 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

$$W_2 = W_1(100 - p_1)/(100 - p_2). \qquad (4.1)$$

Изменяется объем осадка соответственно изменению 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.

§ 77. 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.

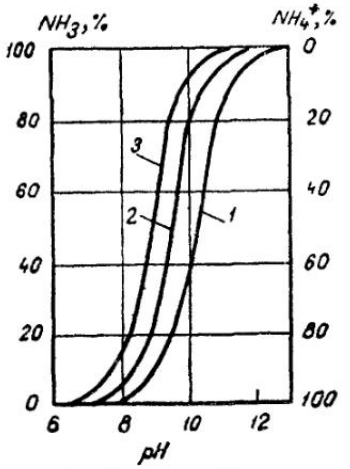


Рис. 4.3. Влияние pH и температуры на распределение аммиака и иона аммония в воде

1 — при температуре 0° С; *2* — то же, 20° С, *3* — то же, 40° С

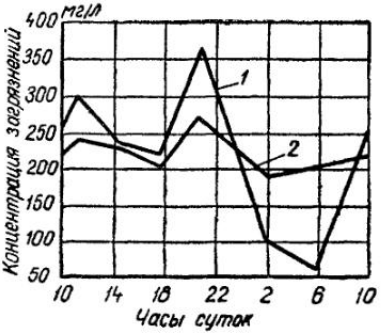


Рис. 4.4. Колебания концентрации бытовых сточных вод

1 — по $БПК_5$; *2* — по взвешенным веществам

Белковые вещества в живом организме в процессе обмена веществ дают мочевину $CO(NH_2)_2$, которая под влиянием гнилостных бактерий в сточной воде подвергается гидролизу с образованием азота аммонийных солей:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3. \qquad (4.2)$$

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

$$(NH_4)_2CO_3 = 2NH_3 + CO_2 + H_2O.$$

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 pH и температуры воды. При pH=7 присутствуют только ионы аммония в истинном растворе; при pH=12 присутствует только растворенный газ — аммиак; при 7<pH<12 могут присутствовать обе формы. На рис. 4. 3 показано влияние pH и температуры на распределение аммиака и иона аммония в воде.

Масса азота аммонийных солей на одного человека в сутки колеблется в очень небольших пределах — 7—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 состав 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 табл. 4.1. Колебания концентрации бытовых сточных вод по взвешенным веществам и $БПК_5$ приведены на рис. 4. 4.

Таблица 4.1

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_2O)	—	3
Фосфаты (P_2O_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

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 канализуемой территории, учтено данными, приведенными в табл. 4.1.

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 определять: по результатам качественного и количественного анализов сточных вод (для действующих предприятий); по данным, полученным от технологов производства о массе и качестве загрязнений, подлежащих спуску в канализацию (для проектируемых предприятий); по данным о составе воды предприятий, имеющих аналогичные технологические процессы (для предварительных соображений).

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. Бóльшая 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 = 1 000 000 мккюри), т. е. количество любого радиоактивного изотопа, излучающего $3{,}7 \cdot 10^{10}$ альфа-частиц в 1 с.

§ 78. 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

$$(NH_4)_2CO_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + CO_2 + 3H_2O; \quad (4.3)$$

$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3. \quad (4.4)$$

Для образования нитритов по уравнению (4. 3) на 2 масс. ч. азота требуется 6 масс. ч. кислорода, а для образования нитратов по уравнению (4. 4) — еще 2 масс. ч. кислорода, т. е. всего 8 масс. ч. Так как относительная атомная масса азота равна 14, а кислорода — 16, то на окисление до нитратов требуется на $2 \cdot 14 = 28$ масс. ч. азота $8 \cdot 16 = 128$ 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 $\frac{16 \cdot 3}{14 \cdot 2} = 1{,}71$ мг кислорода. При денитрификации нитратов N_2O_5 на 2 масс. ч. азота освобождается 5 масс. ч. кислорода, или на 1 мг азота $\frac{16 \cdot 5}{14 \cdot 2} = 2{,}85$ 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.

§ 79. РАСТВОРЕНИЕ И ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА

Для очистки сточных вод, которая наиболее успешно проходит в аэробных условиях, как это видно из предыдущего, необходимо наличие кислорода для окисления органического вещества, входящего в состав загрязнений сточных вод. Израсходованный на это кислород пополняется главным образом за счет растворения его из атмосферного воздуха. Таким образом, в канализационных очистных сооружениях, которые служат для минерализации органических загрязнений, входящих в состав

сточных вод, одновременно протекают два процесса: потребление кислорода и его растворение. Установлено, что минерализация органического вещества, происходящая в результате его окисления при содействии микроорганизмов-минерализаторов или так называемого биохимического окисления, совершается в две фазы: в первой фазе окисляются углеродсодержащие вещества, дающие в результате углекислоту и воду, во второй — азотсодержащие вещества сначала до нитритов, а затем до нитратов.

При достаточном содержании кислорода скорость окисления в первой (углеродистой) фазе подчиняется, как это установлено, определенному закону· скорость окисления, или скорость потребления, кислорода при неизменной температуре в каждый данный момент пропорциональна массе органического вещества, находящегося в воде. Следовательно, по мере окисления органического вещества, если нет поступления новых загрязнений, скорость окисления все время уменьшается.

Этот закон дает возможность вывести уравнения потребления кислорода. Если обозначить через L_a содержание кислорода, необходимого для окисления всего органического вещества, имеющегося в начале процесса, и через x_t содержание кислорода, потребленного за время t, то содержание кислорода L_t, требуемого для окисления оставшихся по истечении времени t органических загрязнений, будет $L_t = L_a - x_t$.

Указанный закон может быть выражен равенством

$$\frac{dx_t}{dt} = -k_1' (L_a - x_t), \tag{4.5}$$

где k_1' — коэффициент пропорциональности, или константа скорости потребления кислорода.

Интегрируя это равенство, получим:

$$-\ln (L_a - x_t) = k_1' t + C.$$

Так как при $t=0$ значение x_t также равно 0, получаем $C = -\ln L_a$. Поэтому

$$\ln (L_a - x_t) = \ln L_a - k_1' t. \tag{4.6}$$

Для перехода к десятичным логарифмам вводим новый коэффициент пропорциональности $k_1 = k_1' \lg e = 0{,}434\, k_1'$. Освобождаемся от логарифмов и в результате получаем уравнения процесса потребления кислорода при биохимическом окислении органического вещества:

$$L_t = L_a - x_t = L_a \cdot 10^{-k_1 t}; \tag{4.7}$$

$$x_t = L_a - L_t = L_a (1 - 10^{-k_1 t}). \tag{4.8}$$

Окисление органических загрязнений, содержащихся в смеси бытовых и производственных сточных вод, происходит по более сложной зависимости. Во многих случаях ход биохимического потребления кислорода описывается бимолекулярным уравнением

$$\frac{dx_t}{dt} = k (L_a - x_t)^2. \tag{4.5а}$$

Константа скорости окисления в этом случае равна 0,0006.

Значение k_1 — константы скорости биохимического потребления кислорода — зависит от температуры T, увеличиваясь с ее повышением.

Эмпирическим путем найдено, что изменение константы в зависимости от изменения температуры может быть выражено формулой

$$k_{1(T_2)} = k_{1(T_1)} \cdot 1{,}047^{T_2 - T_1}, \tag{4.9}$$

где $k_{1(T_1)}$ и $k_{1(T_2)}$ — значения константы k при температурах T_1 и T_2, °С.

Это соотношение справедливо для температур от 10 до 30° С. Определение потребления кислорода в лабораторных условиях обычно производят при температуре 20° С, поэтому формула (4.9) для практических целей приобретает вид:

$$k_{1(T)} = k_{1(20^\circ\,C)} \cdot 1{,}047^{T-20^\circ\,C}. \qquad (4.9a)$$

Для смеси сточных и речных вод константа $k_{1(20°C)}$ равна 0,1; для сточной жидкости в процессе очистки ее значение бывает различным в зависимости от свойств жидкости. Так, например, для сточных вод московской канализации величина $k_{1(T)}$ колеблется в разные периоды года в пределах 0,08—0,25, что указывает на разнообразие и непостоянство органических веществ, содержащихся в стоках.

Начальная потребность в кислороде L_a увеличивается с повышением температуры и уменьшается с ее понижением. По эмпирическим данным соотношение это может быть выражено формулой

$$L_{a(T)} = L_{a(20^\circ\,C)}\,(0{,}02T + 0{,}6), \qquad (4.10)$$

где $L_{a(T)}$ и $L_{a(20\,°C)}$ — потребность в кислороде при T и 20° С.

Вычисленная по формуле (4.7) остающаяся потребность в кислороде через каждые сутки, выраженная в процентах от начальной потребности в кислороде при температуре 20° С и при $k_1 = 0{,}1$, представлена в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Потребность органического вещества в кислороде L_t, %, через t суток после начала процесса биохимического окисления

t	L_t	t	L_t	t	L_t	t	L_t	t	L_t	t	L_t
1	79,4	6	25,1	11	7,94	16	2,51	21	0,79	26	0,25
2	63,1	7	19,9	12	6,31	17	1,99	22	0,63	27	0,2
3	50,1	8	15,8	13	5,01	18	1,58	23	0,5	28	0,16
4	39,8	9	12,6	14	3,98	19	1,26	24	0,4	29	0,13
5	31,6	10	10	15	3,16	20	1	25	0,32	30	0,1

Время, требуемое для снижения потребления кислорода от L_a до L_t, согласно формуле (4.6)

$$t = \frac{1}{k_1'} \lg \frac{L_a}{L_t} \qquad (4.11)$$

Из этой формулы видно, что достигнуть полного окисления всего органического вещества, при котором L_t было бы равным нулю, теоретически невозможно, так как требуемое для этого время должно быть равно бесконечности.

Этому же закону подчиняется процесс растворения кислорода в воде. Кислород, как и всякий другой газ, может растворяться в воде лишь до определенного, насыщающего воду объема. Этот объем зависит от температуры и давления: чем температура выше, тем растворимость кислорода меньше. В табл. 4.3 приведена растворимость кислорода воздуха в чистой и загрязненной воде при летней и зимней температуре и давлении воздуха 0,1 МПа.

Указанная зависимость существует при растворении кислорода, находящегося в воздухе под парциальным давлением, соответствующим его содержанию. Растворимость чистого кислорода, находящегося под более высоким давлением, будет выше. Такое явление наблюдается, как

Таблица 4.3

Основные химические показатели воды водоема

Степень загрязнения	Растворенный кислород		$БПК_5$*	Окисляемость	Взвешенные вещества
	летом	зимой			
	мг/л				
Очень чистая	9	13—14	0,5—1	1	1—3
Чистая	8	11—12	1,1—1,9	2	4—10
Умеренно загрязненная	6—7	9—10	2—2,9	3	11—19
Загрязненная	4—5	4—5	3—3,9	4	20—50
Грязная	2—3	0,5	4—10	5—15	51—100
Очень грязная . . .	0	0	>10	>15	>100

* Определение БПК приведено в § 80.

известно, при фотосинтезе, когда зеленое вещество растений, разлагая на свету CO_2, поглощает углерод и выделяет чистый кислород.

Скорость растворения кислорода, согласно указанному выше закону, в каждый данный момент обратно пропорциональна степени насыщенности воды кислородом или прямо пропорциональна его недонасыщенности (дефициту). Это относится, конечно, лишь к поверхности соприкосновения воды с кислородом (диффузионному слою). Для того чтобы эта скорость растворения относилась ко всей массе воды, необходимо интенсивное ее перемешивание. Дефицит кислорода может быть выражен в абсолютных значениях (в мг/л), а также в относительных величинах (в процентах или в долях от полного дефицита).

Если обозначить через D_a начальный дефицит кислорода, выраженный в долях от полного дефицита, а через D_t — дефицит кислорода в воде по прошествии времени t, то процесс растворения может быть выражен уравнением

$$D_t = D_a \cdot 10^{-k_2 t}, \tag{4.12}$$

где k_2 — константа скорости растворения кислорода, зависящая от природы газа, температуры среды, состояния поверхности и условий перемешивания воздуха с водой.

Значение константы k_2, как и значение k_1, сильно колеблется: в среднем оно может быть принято равным 0,2 при температуре воды 20° С.

С повышением температуры константа скорости растворения кислорода повышается. Однако, ввиду незначительного изменения этой скорости, практически при расчетах растворения кислорода поправку на температуру можно не учитывать.

§ 80. БИОХИМИЧЕСКАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ПОТРЕБНОСТЬ В КИСЛОРОДЕ

Степень загрязненности как сточных вод, так и вод водоемов органическими веществами, содержащимися в растворенном виде и в виде неоседающих 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 отстоенной, так и в неотстоенной 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 основан на том, что в очистных сооружениях, как видно будет 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 $БПК_{20}$; для многих видов сточных вод $БПК_{20}$ равна $БПК_{полн}$ и принимается для расчета очистных сооружений. Биохимическое потребление кислорода часто определяют за 5 дней (так называемая пятисуточная проба $БПК_5$), что соответственно указывается в анализах. Определение $БПК_5$ 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. Это согласуется с уравнением (4.8), описывающим процесс потребления кислорода при биохимическом окислении органических веществ и среднем значении константы скорости потребления кислорода $k_1=0{,}18$.

При разных значениях k_1 соотношение $БПК_5$ и $БПК_{полн}$ будет различным. Так, при значении константы $k_1=0{,}1$ $БПК_5$ 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 $БПК_5$ на $БПК_{полн}$ равным 1,5.

Полная величина БПК, или $БПК_{20}$, для отстоенной 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

$$L_a = a \cdot 1000/q, \qquad (4.13)$$

где a — $БПК_{20}$, приходящаяся на одного человека, г/сутки.

В табл. 4.4 приведены значения $БПК_{20}$ бытовых вод при различных нормах водоотведения.

Таблица 4.4

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

Однако проведенные исследования (Дзядзио, Н. А. Базякиной) показали, что даже $БПК_{20}$ 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.

Для более полной оценки содержания органических веществ в сточной воде, особенно если она представляет собой смесь бытовых и производственных вод, в последнее время 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 $БПК_{20}$ составляет 86% ХПК; однако многие производственные воды имеют ХПК, превышающую $БПК_{20}$ на 50% и более.

§ 81. 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 канализаций в большинстве случаев имеют ту или иную примесь производственных 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

$$C_{см} = \frac{C_{быт} Q_{быт} + \Sigma C_{пр} Q_{пр}}{Q_{быт} + \Sigma Q_{пр}}, \qquad (4.14)$$

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 $N_{экв}$, т. е. такого их числа, которое вносит такую же массу загрязнений, как и данный расход производственных вод. Например, если $БПК_{20}$ от одного жителя равно 40 г/сутки, то при $БПК_{20}$ производственных вод $L_{пр}$, г/м³, получим:

$$N_{экв} = L_{пр} Q_{пр} / 40. \qquad (4.15)$$

Прибавляя вычисленное эквивалентное число жителей к расчетному, получаем общее приведенное число жителей для расчета канализационных сооружений.

В общем стоке, поступающем на очистные сооружения при раздельной системе канализации, $БПК_5$ можно принять равной 220 мг/л, а концентрацию взвешенных веществ — 240—250 мг/л.

До 1985 г. на городские очистные станции будут поступать в основном бытовые и производственные сточные воды. В дальнейшем в крупных городах будет постепенно приниматься в городскую канализацию 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 Ленинграда показывают, что, при существующей организации мытья и очистки от мусора улиц

и площадей $БПК_{20}$ 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, как свидетельствуют данные зарубежной печати, содержит и бактериальные загрязнения. Например, в стоке с улиц микробное число колеблется от десяти до сотен тысяч, а коли-титр — от 10^{-5} до 250.

Учитывая, что крупные города близки друг другу по характеру благоустройства и по составу промышленности, можно принимать на расчетные сроки, по данным Ленинграда, следующие показатели: $БПК_{20}$ — 90 мг/л, концентрация взвешенных веществ — 850 мг/л (зольность 55%).

Для Москвы, учитывая усовершенствование способов сбора, можно ожидать улучшение состава поверхностного стока с территории города: $БПК_{20}$ — 80 мг/л, концентрация взвешенных веществ — 500 мг/л (зольность 50%).

§ 82. АКТИВНАЯ РЕАКЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Очень большое значение имеет активная реакция сточных вод (pH). 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 pH = =7...8. Однако нитритные бактерии жизнеспособны при pH = =4,8...8,8, нитратные — при pH = 6,5...9,3.

Бытовые сточные воды имеют слабощелочную реакцию, обычно pH = 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.

§ 83. 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 колиндекс, 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.

§ 84. 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 исчерпании всего запаса кислорода, и может быть рассчитана в процентах по выражению

$$S = 100\,(1 - 10^{-k_1 t}). \qquad (4.16)$$

После подстановки значения $-k_1 = 0{,}1$ формула приобретает вид:

$$S = 100\,(1 - 0{,}794^{t}). \qquad (4.16а)$$

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%.

§ 85. 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 образующегося при их очистке осадка может сокращать или заменять введение в почву других удобрений.

Как следует из табл. 4.5, 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.

Бóльшая 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.

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 поливках в вегетационный период не допуска-

Таблица 4.5

Содержание удобрительных веществ в бытовых сточных водах

Вещество	Содержание удобрительных веществ, г/м³, 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	—	—

ется. 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 ч.

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.

Глава XV

ОХРАНА ВОДОЕМОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

§ 86. ПУТИ ОХРАНЫ ВОДОЕМОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Загрязнение водоемов происходит как естественным, так и искусственным путем. Загрязнения поступают с дождевыми водами, смываются с берегов, а также образуются в процессе развития и отмирания животных и растительных организмов, находящихся в водоеме.

Искусственное загрязнение водоемов является, главным образом, результатом спуска в них сточных вод от промышленных предприятий и населенных пунктов. Поступающие в водоем загрязнения в зависимости от их объема и состава могут оказывать на него различное влияние: 1) изменяются физические свойства воды (изменяется прозрачность и окраска, появляются запахи и привкусы); 2) появляются плавающие вещества на поверхности водоема и образуются отложения (осадок на дне); 3) изменяется химический состав воды (изменяется реакция, содержание органических и неорганических веществ, появляются вредные вещества и т. п.); 4) уменьшается в воде содержание растворенного кислорода вследствие его потребления на окисление поступивших органических веществ; 5) изменяются число и виды бактерий (появляются болезнетворные), вносимых в водоем вместе со сточными водами. Загрязненные водоемы становятся непригодными для питьевого, а иногда и для технического водоснабжения; в них погибает рыба.

В практике санитарной охраны водоемов пользуются гигиеническими нормативами — предельно допустимыми концентрациями (ПДК) веществ, влияющих на качество воды.

За ПДК принимают ту максимальную концентрацию вещества, при

которой не нарушаются (не ухудшаются) процессы минерализации органических веществ, органолептические свойства воды и промысловых организмов (рыб, раков, моллюсков) и не допускаются токсичные свойства веществ, которые могут вызвать нарушения в жизнедеятельности (выживаемость, рост, размножение, плодовитость, качество потомства) основных групп водных организмов (растений, беспозвоночных животных, рыб), играющих важнейшую роль в формировании качества воды, создании и трансформации органического вещества.

Следовательно, ПДК должна обеспечивать нормальный ход биологических процессов, формирующих качество воды, и не ухудшать товарные качества промысловых организмов. При одновременном присутствии нескольких вредных веществ ПДК каждого должна быть соответственно уменьшена в связи с их аддитивным действием.

Более строго считается, что единственно правильным критерием чистоты вод является полная сохранность биоценоза водоема. Лимнологический институт СО АН СССР при решении вопроса о ПДК для оз. Байкал предложил, чтобы в сточных водах, сбрасываемых в это озеро, концентрации минеральных компонентов были на уровне их среднегодовых показателей в питающих озеро водах; органические компоненты, не свойственные по своей химической природе естественным водам, не должны сбрасываться в водоем.

Наиболее эффективным путем охраны водоемов от загрязнения сточными водами является очистка сточных вод. В связи с этим необходимо широко применять наиболее эффективные методы очистки:

1) метод многоступенчатой аэрации с активным илом;

2) метод аэрации с активным илом с последующим фильтрованием через песчаные фильтры;

3) метод аэрации с активным илом с последующим фильтрованием через микрофильтры;

4) метод аэрации с активным илом и фильтрованием через активированный уголь;

5) метод аэрации с активным илом с последующим ионообменом;

6) удаление фосфатов осаждением с помощью извести после аэрации с активным илом, с последующим фильтрованием через песчаные фильтры;

7) химическое осаждение взвешенных веществ после аэрации с активным илом для задержания фосфора;

8) доочистку в прудах;

9) культивирование водорослей для удаления фосфора и нитратов, а также для снижения БПК;

10) адсорбцию активированным углем для изъятия органических веществ;

11) метод обессоливания;

12) сепарацию пены для удаления детергентов.

Для рационального использования водных ресурсов и усиления охраны природных вод от загрязнения следует разрабатывать технические решения для повторного использования очищенных сточных вод в системах производственного водоснабжения.

В пределах крупных городов необходимо учитывать загрязнения рек не только бытовыми и производственными сточными водами, но и дождевыми, стекающими с территории города по водостокам. Считается, что минимальный расход воды в реке для разбавления дождевых вод должен составлять не менее 0,016 л/с на одного жителя города, в ином случае кислородный режим и физические свойства речной воды будут неудовлетворительными.

Министерством мелиорации и водного хозяйства РСФСР разработаны два варианта водохозяйственного баланса по бассейнам основных рек на 1980 г.

Таблица 4.6

Водохозяйственные мероприятия РСФСР и определяющие их условия

Критерий баланса	Условия речного стока	Водохозяйственные мероприятия				
		не требуются	сезонное регулирование	годовое регулирование	многолетнее регулирование	переброска стока
Соотношение между безвозвратными потерями и водностью, %	Маловодный месяц	$\leqslant 30$	>30	—	—	—
	Маловодный год	—	<50	От 50 до 85	>85	—
	Год средней водности	—	—	—	$\leqslant 85$	>85
Обеспечение заданной минимальной кратности разбавления K сбрасываемых в реку сточных вод	Маловодный месяц	$\geqslant K$	$<K$	—	—	—
	Маловодный год	—	$>\frac{K}{0,5}$	От $\frac{K}{0,5}$ до $\frac{K}{0,85}$	$<\frac{K}{0,85}$	—
	Год средней водности	—	—	—	$\geqslant \frac{K}{0,85}$	$<\frac{K}{0,85}$

Первый вариант. Сточные воды после очистки сбрасываются в реки. Расходная часть баланса — безвозвратные потери воды. Приняты четыре минимальных значения кратности разбавления K сбрасываемых в реки очищенных сточных вод — 1 : 3, 1 : 5, 1 : 10, 1 : 20.

Второй вариант. Производственные и бóльшая часть бытовых сточных вод в реки не возвращаются (за счет повторного использования стоков на полях орошения, полях фильтрации и т. п.). Расходная часть баланса возрастает по сравнению с первым вариантом, но сокращаются резервы воды, необходимые для разбавления сточных вод. Кратность разбавления K составляет 1 : 5.

Водохозяйственные мероприятия, определяющиеся соотношением водопотребления и водности рек, а также минимальной кратностью разбавления сточных вод, сбрасываемых в реку, приведены в табл. 4.6.

По данным составленного водохозяйственного баланса установлено, что для необходимого разбавления сбрасываемых в реки сточных вод требуются более сложные водохозяйственные мероприятия, чем для отбора необходимого объема воды при сокращении сброса сточных вод в реки. Поэтому рекомендуется сокращать сброс сточных вод в реки в тех случаях, когда требуется значительное их разбавление водой.

Общепринятая методика определения обводнительных расходов до настоящего времени отсутствует.

Предлагается определять обводнительный расход $Q_{\text{обв}}$ при спуске в реки ливневых и поливомоечных вод, пользуясь зависимостью

$$Q_{\text{обв}} = \frac{q_{\text{ст}} (\text{БПК}_{\text{ст}} - \text{БПК}_{\text{доп}})}{\alpha (\text{БПК}_{\text{доп}} - \text{БПК}_{\text{р}})}, \qquad (4.17)$$

где $q_{\text{ст}}$ — расчетный расход сточных вод;

$БПК_{ст}$, $БПК_{дсп}$ и $БПК_{р}$ — расчетные значения биохимической потребности кислорода соответственно сточных вод, предельно допустимой концентрации в реке после сброса сточных вод и речной воды до сброса сточных вод;

α — коэффициент степени смешения сточных вод с речной водой.

Для определения размера санитарного попуска $Q_п$ предложена зависимость

$$Q_п = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i q_i + C_р Q_р - C_{пр}\left(Q_р + \sum_{i=1}^{n} q_i\right)}{C_{пр} - C_п}, \qquad (4.18)$$

где q_i — расход сточных вод с концентрацией C_i лимитирующего загрязнения;

$Q_р$ — расход речной воды с концентрацией $C_р$ того же вещества в рассматриваемом створе реки;

$C_п$ — концентрация загрязняющего вещества в воде, поступающей при санитарном попуске;

$C_{пр}$ — предельная концентрация загрязнения в речной воде после смешения ее с водой санитарного попуска;

i — число спусков сточных вод на рассматриваемом участке реки.

С математической точки зрения зависимости (4.17) и (4.18) очень просты, но для широкого применения их в практике необходимы большие научно обоснованные исследования по определению оптимальных значений входящих в них величин. Лишь на их основе можно осуществить достаточно достоверное прогнозирование качества воды рек.

Наибольший вред рыбному хозяйству наносится при спуске нефти и нефтепродуктов в водоемы во время нереста. Икра рыб пропитывается нефтепродуктами, обволакиваясь находящимися в воде взвешенными веществами. Загрязненная икра оседает на дно в тихих местах и погибает.

Таким образом, полное освобождение сточных вод от всех компонентов нефти и особенно от мазута, вызывающего гибель мальков, а также полная дезодорация сточной воды необходимы для того, чтобы не изменять физико-химических свойств воды водоема в месте спуска сточных вод и ниже по течению реки.

Наличие в сточных водах вредных веществ тормозит процессы самоочищения водоемов. Такие загрязнения производственных сточных вод, как сероводород и сульфиды, оказывают отравляющее действие на живые организмы. Кроме того, они, являясь неустойчивыми в водной среде, окисляются за счет растворенного в воде кислорода, нарушая этим кислородный режим водоема. К таким же тяжелым последствиям приводит выпуск в водоемы фенолсодержащих сточных вод, в частности сточных вод газогенераторных станций, химических заводов, а также предприятий бумажной промышленности.

Сточными водами могут загрязняться не только поверхностные водоемы, но и подрусловые воды, используемые населением для питьевых целей. Для того чтобы не допустить загрязнения водоемов, необходим постоянный контроль за качеством воды в них. В осуществлении контроля главную роль должны играть автоматические станции с измерительными приборами.

Автоанализаторы применяются в настоящее время преимущественно в стационарных лабораторных условиях. Для исследования качества воды в полевых условиях, а также для автономной регистрации применяют автоматические станции, которые работают на принципе электрометрии.

Типовая автоматическая станция контроля за качеством воды состоит из четырех основных элементов: приемной части, в которой расположены датчики (электроды) для измерения отдельных параметров качества; анализирующего блока; регистрирующего и передающего устройств. В приемной части находятся датчики (электроды), помещаемые в камеры, через которые равномерно проходит исследуемая вода. Анализирующий блок служит для усиления электрических сигналов датчиков и преобразования их в сигнал для автоматической регистрации. Регистрирующее устройство записывает сигналы, поступающие из анализирующего блока, на бумажную ленту в виде кривых или точек (на некоторых станциях запись идет в перфорированном виде). Передающее устройство служит для преобразования электрических сигналов в однородные импульсы, которые передаются по линии связи на центральный пункт.

Автоматические измерительные станции подразделяются в основном на два типа: в одних — результаты измерений записываются на специальной ленте, которая через определенные промежутки времени (неделя, 10 дней) меняется обслуживающим персоналом; в других — результаты сразу же передаются на центральный пункт.

На центральную вычислительную станцию передаются сведения о качестве воды по основным показателям: содержание растворенного кислорода, pH, мутность и температура, содержание хлоридов, БПК и др.

§ 87. САМООЧИЩЕНИЕ ВОДЫ В ВОДОЕМЕ

Самоочищающая способность реки зависит от многих природных факторов: объема речного стока, скорости потоков, химического состава воды, ее температуры и т. д. Учесть их все при прогнозировании оптимальных санитарных попусков очень трудно.

Действующие санитарные нормы требуют предельно минимального содержания загрязнений в очищенных сточных водах, сбрасываемых в водоемы. Однако во многих случаях глубокая очистка стоков в соответствии с этими нормами стоит значительно дороже, чем разбавление сточных вод, прошедших менее глубокую очистку, речной водой. Для интенсификации самоочищения рек возможно применение искусственной аэрации, которая очень эффективна, но пока еще не получила широкого распространения.

Процесс смешения и разбавления сточных вод в реках, озерах и водохранилищах. При определении степени смешения нельзя принимать в расчет весь расход реки, так как вблизи места выпуска достаточно полного смешения еще нет — оно происходит на некотором расстоянии от места выпуска.

Для учета расхода реки, участвующего в смешении, т. е. процессов разбавления, вводят коэффициент смешения a, показывающий, какая часть расхода реки смешивается со сточной водой в данном створе.

При спуске сточных вод в проточные водоемы значение a определяется по методу В. А. Фролова и И. Д. Родзиллера:

$$a = \frac{1 - e^{-\alpha\sqrt[3]{l}}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha\sqrt[3]{l}}}, \qquad (4.19)$$

где e — основание натуральных логарифмов;

l — расстояние от створа выпуска сточных вод до расчетного створа (ближайшего пункта водопользования) по течению (фарватеру) реки, м;

Q — наименьший среднемесячный расход воды (при 95%-ной обеспеченности) в створе реки у места выпуска, м³/с;

q — расход сточных вод, м³/с.

Коэффициент α, учитывающий гидравлические факторы в реке, определяется по формуле

$$\alpha = \varphi\xi\sqrt[3]{E/q}, \tag{4.20}$$

где φ — коэффициент извилистости реки, равный отношению расстояния от места выпуска вод до расчетного створа по фарватеру $l_ф$ к расстоянию между этими же пунктами по прямой $l_{пр}$; $\varphi = l_ф/l_{пр}$;

ξ — коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоеме; при выпуске у берега $\xi = 1$, при выпуске в фарватер реки $\xi = 1{,}5$;

E — коэффициент турбулентной диффузии, который для равнинных рек определяется по формуле

$$E = v_{ср} H_{ср}/200; \tag{4.21}$$

здесь $v_{ср}$ — средняя скорость течения реки, м/с, на участке между выпуском сточных вод и расчетным створом;

$H_{ср}$ — средняя глубина реки на том же участке, м.

Если путь смешения состоит из отдельных участков с резко отличающимися значениями v и H, то величина E определяется по формуле

$$E = \frac{l_1}{l}\cdot\frac{v_1 H_1}{200} + \frac{l_2}{l}\cdot\frac{v_2 H_2}{200} + \ldots + \frac{l_n}{l}\cdot\frac{v_n H_n}{200}, \tag{4.22}$$

где $l_1, l_2, \ldots, l_n$ — длина участков, причем $l_{полн} = l_1 + l_2 + \ldots + l_n$;

$v_1, v_2, \ldots, v_n$ — средние скорости на участках;

$H_1, H_2, \ldots, H_n$ — средняя глубина участков.

Длина фарватера $l_ф$ для узких несудоходных рек совпадает с длиной участка смешения по оси реки, а для широких судоходных рек она определяется по лоцманским картам.

Расстояние от выпуска сточных вод до створа полного смешения $l_{полн}$ теоретически равно бесконечности. Действительно, протяженность загрязненной струи до какого-нибудь створа, в котором сточные воды смешиваются с частью a расхода реки,

$$l_{см} = \left[\frac{2{,}3}{\alpha}\lg\frac{aQ+q}{(1-a)q}\right]^3. \tag{4.23}$$

Из уравнения (4.23) видно, что для створа полного смешения коэффициент смешения $a = 1$, и в этом случае знаменатель подлогарифменной величины становится равным нулю, а сама величина стремится к бесконечности. Для практических расчетов следует определять расстояние до створа достаточно полного смешения, для которого, например, $a = 0{,}95$ или $a = 0{,}9$, т. е. в котором сточная жидкость смешивается с 95 или 90% расхода воды реки.

При определении кратности разбавления в расчетных створах пользуются формулой

$$n = (aQ + q)/q. \tag{4.24}$$

Расчет по этой формуле дает формальную оценку разбавления только по расходам и не учитывает степени очистки сточных вод и динамики водоема.

Наиболее полная оценка физических процессов, происходящих в водоеме, может быть получена только гидравлическим моделированием.

Расчет разбавления сточных вод в озерах и водохранилищах по методу Н. Н. Лапшова применяется в следующих случаях:

а) для напорных сосредоточенных и рассеивающих выпусков в проточные озера и водохранилища;

б) при абсолютных скоростях истечений струй $v_0 \geqslant 2$ м/с;

в) при относительной глубине места расположения выпуска $H/d_0 \geqslant 30$, где d_0 — диаметр выпускного отверстия, м.

Наименьшее общее разбавление, наблюдающееся в районе выпуска сточных вод в озеро или в водохранилище (с учетом начального разбавления), определяется зависимостью

$$n = A\,(5{,}56 l/d_0)^{ps}\,, \qquad (4.25)$$

где l — расстояние от выпуска до расчетного пункта, м;

A — параметр, определяющий изменение разбавления: при рассеивающем выпуске $A = 0{,}74\ \ (l/b + 2{,}1)^{-0{,}4}$ (b — расстояние между оголовками рассеивающего выпуска); при сосредоточенном выпуске $A = 1$;

p — параметр, зависящий от степени проточности водоема и нагрузки сточных вод на него;

s — параметр, зависящий от глубины водоема.

Значение параметра p для случая, когда скорость течения воды в водоеме определяется стоком, находится по формуле

$$p = \frac{l\omega_0}{0{,}000015\beta_s + W_{ст} + l\omega_0}\,, \qquad (4.26)$$

где ω_0 — суммарная площадь выпускных отверстий, м^2;

$W_{ст}$ — годовой объем сбрасываемых сточных вод, м^3;

β_s — период обмена воды в водоеме, годы;

$$\beta_s = W_в/M,$$

здесь $W_в$ — полная емкость водоема, м^3;

M — средний многолетний объем годового стока, м^3.

Если известны расчетная скорость потока $v_в$ и скорость истечения струи из выпуска v_0, то значения p вычисляются из зависимости

$$p = \frac{v_в/v_0}{0{,}000015 + v_в/v_0}\,.$$

При значениях $v_в/v_0 > 0{,}001$ параметр p принимается равным 1.

Параметр s рассчитывается по формуле

$$s = 0{,}875 + 0{,}001 H_{ср}/d_0,$$

где $H_{ср}$ — средняя глубина водоема в месте выпуска, м;

d_0 — диаметр выпускного отверстия, м.

Параметр s всегда меньше единицы или равен ей, если же по расчету его значение получается бóльшим, то его принимают равным единице.

Для создания наилучших условий разбавления при конструировании выпуска надлежит учитывать следующие положения:

а) расположение выпуска должно быть в области устойчивых течений; не рекомендуется устраивать выпускное сооружение в небольших заливах, затонах и районах устойчивых циркуляционных течений;

б) для создания наилучших условий подхода окружающей жидкости к выходящим из оголовков струям выпускные отверстия должны быть расположены над дном водоема на высоте $h \geqslant 5d$, но не менее 1 м;

в) направление выпуска сточных вод в плане должно соответствовать направлению наиболее устойчивых течений;

г) ось выходящей из выпуска струи должна направляться под углом к горизонту, определяемым расчетом в зависимости от относительной глубины H/d_0 и отношения скоростей $v_в/v_0$;

д) оголовки рассеивающего выпуска должны располагаться друг от друга на расстоянии $b \geqslant H_{ср}$.

Порядок расчета разбавления при выпуске сточных вод в озера и водохранилища следующий:

а) исходя из расчетного расхода сточных вод, устанавливают площадь сечения сосредоточенного выпуска или суммарную площадь отверстий рассеивающего выпуска; выбор скорости истечения производится, как указано выше;

б) устанавливают диаметры выпускных отверстий;

в) для рассеивающего выпуска определяют расстояние между оголовками;

г) последовательно рассчитывают параметры: p по формуле (4.26), s и A;

д) находят разбавление по формуле (4.25).

Эффект смешения значительно повышается при использовании специальных рассеивающих выпусков и предварительном разбавлении сточных вод речной водой путем ее подачи из реки или из водохранилища насосами в береговую камеру выпуска.

Потребление и растворение кислорода в воде водоема. Для того чтобы процесс самоочищения протекал нормально, необходимо обеспечить определенные условия, основным из которых является наличие в водоеме после спуска в него сточных вод запаса растворенного кислорода.

В водоеме одновременно происходит, с одной стороны, потребление кислорода на минерализацию органических веществ, а с другой — пополнение его за счет растворения кислорода, поступающего с поверхности водного зеркала, т. е. так называемая реаэрация.

Процесс потребления кислорода, как указывалось ранее, определяется уравнением (4.7) или формулой

$$\lg \frac{L_t}{L_a} = -k_1 t.$$

Процесс реаэрации определяется формулой (4.12) или

$$\lg \frac{D_t}{D_a} = -k_2 t.$$

Здесь L_a — $БПК_{полн}$ в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/л;

L_t — $БПК_{полн}$ по прошествии времени t, мг/л;

D_a — дефицит растворенного кислорода в начальный момент у места выпуска сточных вод, мг/л;

D_t — дефицит растворенного кислорода по прошествии времени t, мг/л;

k_1 — константа скорости потребления кислорода (БПК) при данной температуре воды;

k_2 — константа реаэрации кислорода при данной температуре воды;

t — время, в течение которого идут потребление и реаэрация кислорода, сутки.

При одновременном действии обоих процессов во взаимно противоположном направлении (один уменьшает количество растворенного кисрода, а другой увеличивает его до степени насыщения) окончательная скорость изменения дефицита кислорода может быть выражена уравнением баланса кислорода

$$\frac{dD_t}{dt} = k_1' L_t - k_2' D_t, \tag{4.27}$$

после интегрирования которого получим уравнение дефицита кислорода (Стриттера — Фельпса) по прошествии времени t:

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a \cdot 10^{-k_2 t}. \tag{4.28}$$

На рис. 4.5 показана схема изменения кислородного баланса при одновременном протекании процессов потребления и растворения кислорода. Как видно из рисунка, общее содержание растворенного кислорода сначала падает до известного минимума (пункт наибольшего загрязнения), а затем, примерно с четвертого дня, начинает возрастать. Место наименьшего содержания кислорода на кривой *3* носит название кислородного прогиба (критическая точка).

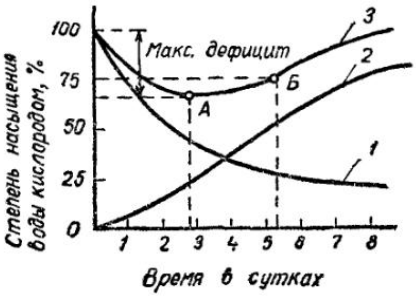


Рис. 4.5. Схема изменения кислородного баланса

1 — степень потребления кислорода без реаэрации по уравнению (4.7), *2* — процесс реаэрации по уравнению (4.12); *3* — то же, по уравнению (4.28); *A* — критическая точка максимального дефицита кислорода; *Б* — точка максимальной скорости восстановления кислорода

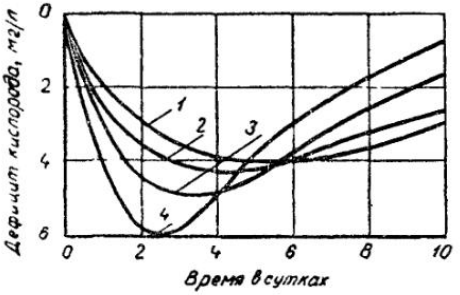


Рис. 4.6. Влияние температуры на изменение содержания растворенного кислорода

1 — при температуре 5° С; *2* — то же, 10° С; *3* — то же, 20° С; *4* — то же, 30° С

Если в приведенном уравнении все величины, кроме k_2, известны, т. е. если замерены значения L_a, D_a и D_t и принята величина k_1, то можно определить значение k_2. Во многих случаях при $T=20°\text{C}$ $k_2=0{,}2$, т. е. вдвое больше константы k_1. На неглубоких участках реки при наличии быстрого течения и других условий, способствующих хорошему перемешиванию, значение k_2 может быть значительно (иногда в 10 раз) больше величины k_1.

По имеющимся исследованиям можно принимать следующие значения k_2:

для водохранилищ и слабопроточных водоемов	0,05—0,15
» рек с малой скоростью течения (<0,5 м/с)	0,2—0,25
» » » большой скоростью течения (>0,5 м/с)	0,3—0,8
для малых рек	0,5—0,8

Однако если на дне реки скапливается много ила, то на его окисление будет затрачиваться большое количество кислорода, что не может быть учтено ни при определении дефицита кислорода, ни при определении БПК. Найденное при таких условиях значение константы растворения k_2 будет неправильным и ниже действительного значения.

Время $t_{кр}$, соответствующее минимуму содержания кислорода, может быть определено из уравнения (4.28) приравниванием нулю первой производной этого уравнения по t:

$$10^{(k_2-k_1)t} = \frac{k_2}{k_1}\left[1 - \frac{D_a(k_2-k_1)}{k_1 L_a}\right], \tag{4.29}$$

откуда

$$t_{кр} = \frac{\lg\left\{\frac{k_2}{k_1}\left[1 - \frac{D_a(k_2 - k_1)}{k_1 L_a}\right]\right\}}{k_2 - k_1}. \qquad (4.30)$$

После определения $t_{кр}$ можно, зная L_a и D_a, определить из того же уравнения (4.28) D_t, а следовательно, и минимальное содержание кислорода. Допустимый минимум установлен санитарными правилами (см. далее).

Кислородный режим реки зависит от температуры. При повышении температуры воды скорость потребления кислорода возрастает, а так как скорость реаэрации при этом почти не изменяется, то летом минимум содержания кислорода наступает быстрее и содержание кислорода в реке будет меньше. Принимая к тому же во внимание, что растворимость кислорода в воде летом уменьшается, следует признать летние условия в отношении содержания кислорода в реке менее благоприятными, чем зимние (при отсутствии ледяного покрова).

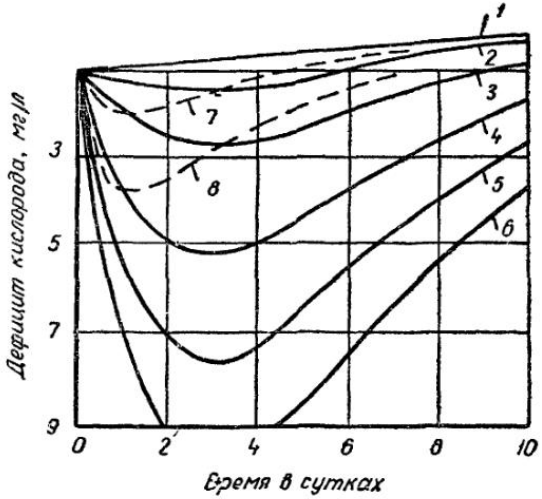


Рис. 4 7 Влияние первоначальной БПК и коэффициента реаэрации на изменение содержания растворенного кислорода

1 — L_a=2, k_2=0,2; *2* — L_a=5, k_2=0,2; *3* — L_a=10, k_2=0,2, *4* — L_a=20, k_2=0,2; *5* — L_a=30, k_2=0,2; *6* — L_a=40, k_2=0,2; *7* — L_a=20, k_2=0,8, *8* — L_a=40, k_2=0,8

Ледяной покров в зимнее время почти приостанавливает реаэрацию, и содержание растворенного кислорода может очень сильно уменьшиться. Наблюдались даже случаи гибели рыбы от недостатка кислорода. В этот период насыщение воды кислородом должно осуществляться аэрацией. Поверхность водохранилища в зоне аэрации остается свободной от льда, вода получает необходимое количество кислорода и качество ее улучшается.

На рис. 4.6 показано изменение содержания кислорода в воде реки при различных температурах.

Начальный дефицит принят во всех случаях равным нулю. Первоначальная $БПК_5$ принята равной 20 мг/л; при температуре 20° С константы k_1=0,1 и k_2=0,2. Для других температур константу k_1 можно вычислить по уравнению (4.9).

Максимальный дефицит при температуре 5 и 30° С наблюдается соответственно через 5,5 и 2,5 дня, причем значение дефицита кислорода в первом случае достигает 4 мг/л, а в последнем —6 мг/л.

Большое влияние на содержание растворенного кислорода в водоеме оказывает и величина начального загрязнения. На рис. 4.7 показаны кривые изменения содержания кислорода в воде водоема, вычисленные по формуле (4.28) для первоначальной L_a, равной 2, 5, 10, 20, 30 и 40 мг/л. Во всех случаях начальный дефицит кислорода принят одинаковым — около 1 мг/л, а температура 20° С.

Из рассмотрения рис. 4.7 и формулы (4.30) видно, что время до наступления минимума содержания кислорода при прочих равных условиях увеличивается с возрастанием начальной БПК (L_a), но увеличение это незначительно и время наступления минимума колеблется от 2 до

3 дней Из этой же формулы можно видеть, что время до наступления минимума содержания кислорода будет тем меньше, чем больше начальный дефицит кислорода D_a. Время это, а следовательно, и расстояние критической точки от начального пункта зависят главным образом от температуры.

От начальной БПК значительно зависит величина падения содержания кислорода. Как видно из рис. 4.7 и формулы (4.28), дефицит кислорода в критической точке $D_{кр}$ возрастает почти прямо пропорционально начальной БПК (L_a).

При плохих условиях реаэрации, т. е. при небольшом значении коэффициента k_2 и высокой температуре воды летом, дефицит кислорода D_t может дойти до полного, т. е. растворенный кислород на некотором участке водоема будет отсутствовать. Из рис. 4. 6 видно, что такие условия наступают, например, при $L_a=40$ мг/л и $k_2=0{,}2$. В этом случае, даже при учете одновременного потребления и растворения кислорода, содержание его в воде водоема падает до нуля. На рисунке это выражается тем, что кривая содержания кислорода пересекается с осью абсцисс, соответствующей полному отсутствию растворенного кислорода или дефициту его при температуре речной воды 20° С, равному 9,17 мг/л. С другой стороны, при хорошей реаэрации, превышающей потребление кислорода, и незначительном начальном загрязнении может оказаться, что снижения содержания растворенного кислорода не будет.

Из рис. 4.7 видно, как велико значение константы растворения кислорода. При том же начальном загрязнении $L_a=40$ мг/л, но при $k_2=0{,}8$ дефицит кислорода составляет лишь 3,8 мг/л, и наименьшее содержание кислорода равно: $9{,}17-3{,}8=5{,}37$ мг/л. Кроме того, момент наибольшего загрязнения и начало возрастания содержания кислорода наступают значительно раньше. Ввиду того что скорость реаэрации пропорциональна дефициту кислорода, на такую величину реаэрации ($k_2=0{,}8$) рассчитывать не следует.

В этом случае скорость потребления кислорода в начальный период будет значительно превышать скорость его растворения за счет реаэрации, и может наступить момент, когда дефицит кислорода будет больше расчетного и содержание его в воде упадет ниже допустимого предела 4 мг/л. Совершенно ясно, что растворенный кислород в очищенных сточных водах оказывает значительное влияние на содержание растворенного кислорода в речной воде ниже точки сброса сточных вод, а в случае плохой реаэрации речной воды отсутствие растворенного кислорода в очищенных сточных водах может привести к появлению анаэробных условий ниже по течению реки. Таким образом, сброс сточных вод с высокой степенью очистки, определяемой по БПК, вполне может являться причиной значительного загрязнения, если в сточной воде отсутствует растворенный кислород. Но, с другой стороны, константа скорости растворения кислорода (и величина реаэрации) сильно зависит от гидрологических условий водоема, способствующих перемешиванию воды. Поэтому в некоторых случаях представляется целесообразным принять меры к искусственному повышению этой константы путем устройства на требуемом участке водоема перепадов или иных инженерных сооружений, способствующих лучшему перемешиванию и аэрированию воды.

При определении величины реаэрации водоемов вместо константы скорости растворения кислорода k_2, исчисляемой на единицу объема, принимают коэффициент реаэрации A, исчисляемый на единицу площади поверхности, — обычно в граммах кислорода на 1 м^2 площади поверхности водоема в сутки.

Коэффициент реаэрации сразу показывает содержание растворяющегося кислорода и поэтому может быть назван величиной реаэрации. Он зависит главным образом от дефицита кислорода в воде водоема, но так же, как и константа скорости растворения, зависит от температуры и

всех тех условий в водоеме, которые влияют на перемешивание воды от глубины водоема, формы русла, скорости течения, наличия ветра и пр.

По наблюдениям, проведенным на наших реках в разное время года, коэффициент реаэрации в зависимости от дефицита кислорода и температуры колеблется от 0,5 до 5 г на 1 м² площади поверхности водного зеркала в сутки.

Если количество растворенного кислорода в начальном и конечном пунктах остается одинаковым и, следовательно, все снижение БПК на рассматриваемом участке происходит за счет растворившегося кислорода, т. е. за счет реаэрации, то средняя величина коэффициента реаэрации A может быть определена по формуле

$$A = Q(L_a - L_t)/F, \qquad (4.31)$$

где Q — расход воды, м³/сутки;

L_a и L_t — БПК в начальном и конечном пунктах, г/м³;

F — площадь поверхности водного зеркала на всем протяжении участка от начального до конечного пункта, м².

На протяжении рассматриваемого участка этот коэффициент может меняться в зависимости, как указано выше, от дефицита кислорода и других причин.

По этой формуле можно определить требуемую площадь поверхности водного зеркала для полной ликвидации внесенных загрязнений, а зная ширину реки и скорость течения в ней, — расстояние и время ликвидации загрязнений. С другой стороны, задаваясь расстоянием, на котором должно закончиться самоочищение, а следовательно, назначая требуемую площадь поверхности водного зеркала, можно определить массу загрязнений, которая может быть внесена в водоем при данных местных условиях, и тем самым установить требуемую степень очистки.

Для решения уравнений кислородного баланса водоемов могут быть применены электронные вычислительные машины.

В водохранилищах циркуляция воды в верхних слоях поддерживается благодаря действию ветра, что приводит к полному насыщению воды кислородом. Это, в свою очередь, создает нормальные условия для развития планктона, служащего пищей для рыб. Однако ниже определенного уровня перемешивающее действие ветра перестает сказываться и плотность воды быстро повышается. Вода из придонных слоев выше этого уровня подняться не может, в ней происходит накопление остатков растительных и животных организмов, опускающихся из верхних слоев и разлагающихся с образованием сероводородных соединений Следствием этого являются обескислороживание воды и значительное ухудшение ее качества.

Одной из мер, позволяющих уменьшить дефицит кислорода в застойных зонах водохранилищ, является искусственная их аэрация. Ее применение стимулирует развитие планктона и увеличивает рыбные запасы водохранилищ.

Бактериальное загрязнение водоемов. Наличие бактериальных загрязнений в бытовых сточных водах может быть причиной инфекционных заболеваний, возбудители которых могут распространяться через воду (холера, тиф, бактериальная дизентерия и др.). По общим требованиям к составу воды водоемов у пунктов санитарно-бытового водопользования вода не должна содержать возбудителей заболеваний.

В качестве показателя самоочищения водоемов чрезвычайно важное значение имеет снижение числа бактерий. Закономерность процесса самоочищения от бактериальных загрязнений еще не установлена полностью. Нередко в водоеме ниже выпуска сточных вод бактериальное загрязнение сначала возрастает, а затем начинается отмирание бактерий в процессе самоочищения воды. При этом максимум бактериального за-

грязнения может наступить значительно ниже места практически полного смешения. По данным С. Н. Строганова, такое явление наблюдалось во всех обследованных проточных водоемах.

До настоящего времени обнаружено отмирание в воде только водных сапрофитов и кишечной палочки. В какой связи с этими явлениями находится патогенная микрофлора, не выяснено, причем не отрицается возможность при определенных условиях размножения в воде возбудителей кишечных заболеваний. Многие патогенные микробы, в том числе микробы брюшного тифа и холеры, сохраняют жизнеспособность в воде довольно долго.

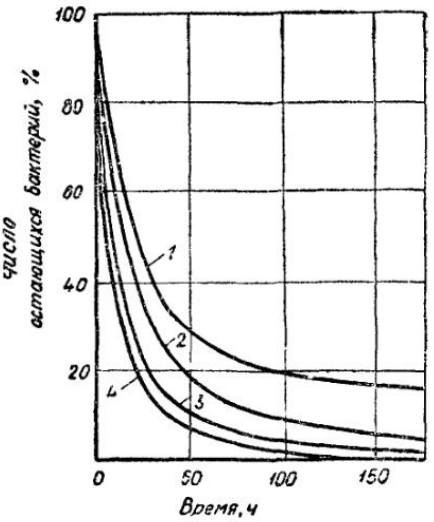


Рис. 48 Кривые изменения бактериального загрязнения рек в зависимости от времени

1 и *2* — содержание бактерий в воде соответственно общее и кишечной палочки зимой при $T=1{,}8°$ С; *3* и *4* — то же, летом при $T=23{,}6°$ С

Для летне-осеннего периода С. Н. Строганов приводит следующие схематизированные данные о ходе процесса бактериального самоочищения. Через 24 ч остается не более 50% бактерий от максимального их числа, через 48 ч — 10—25%, через 72 ч — 10%, через 96 ч — 0—5%.

Бактериальное самоочищение рек может быть представлено кривыми, изображенными на рис. 4.8. Из этих данных видно, что на довольно длительном пути движения воды в водоеме бактериальные загрязнения остаются еще значительными и процесс бактериального самоочищения в зимнее время сильно замедляется. Поэтому дезинфекция сточных вод очень важна в санитарно-эпидемиологическом отношении, даже если населенные пункты расположены на значительном расстоянии ниже выпуска сточных вод.

§ 88. УСЛОВИЯ СПУСКА СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОЕМЫ

В СССР принят и 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», «Правилами санитарной охраны прибрежных районов морей» Министерства здравоохранения СССР и «Санитарными правилами для речных и озерных судов СССР», имеющими целью предупреждение и устранение существующего загрязнения сточными водами водоемов — рек, озер, искусственных каналов, водохранилищ и морей.

Согласно конвенции по предотвращению загрязнения морей вредными отходами полностью запрещается сбрасывать в моря и океаны отходы производства, содержащие радиоактивные вещества, особо вредные компоненты, ртуть, кадмий. Можно сбрасывать в море при условии тща-

тельного контроля отходы, включающие вещества, содержащие цинк, медь, свинец и др. К третьей категории конвенция относит отходы, которые в целом разрешается сбрасывать в моря, но при соблюдении соответствующих условий относительно концентрации вредных веществ, мест сбрасывания и т. д.

«Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» установлены два вида нормативов качества воды в водоемах: а) для водоемов питьевого и культурного-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 санитарно-эпидемиологическими станциями и 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 $БПК_{полн}$ 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 $6{,}5 \leqslant pH \leqslant 8{,}5$.

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° по сравнению с среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.

В СССР большое внимание уделяется предупреждению и устранению загрязнения 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.

Для сбора бытовых стоков с судов, находящихся длительное время

Таблица 4.7

Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воде водоемов санитарно-бытового водопользования

Ингредиент	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Анилин	Санитарно-токсикологический	**0,1**
Бензол	То же	0,5
Гексахлорбензол	»	0,05
Нитраты (по азоту)	»	10
Тетраэтилсвинец	»	0
Аммиак (по азоту)	Общесанитарный	2
Капролактам	»	1
Медь (Cu^{2+})	»	0,1
Хлор активный	»	0
Амины жирного ряда		
Дихлорфенол	Органолептический	0,002
Железо (Fe^{2+})	»	0,5
Нафтеновые кислоты	»	0,3
Нефть многосернистая	»	0,1
Нефть прочая	»	0,3
Сероуглерод	»	1
Фенол (карболовая кислота)	»	0,001
Хлорофос	»	0,05
Поверхностно-активные вещества ПАВ		
Алкилбензолсульфонаты АБС	»	0,5
Органические пестициды		
ДДТ	»	0,2
4,6-Динитроортокрезол натрия	»	1

далеко от берегов, предусматривается оборудовать баржи или суда-сборщики типа «Уникум». Для сбора бытового мусора и пищевых отбросов все суда обеспечиваются мусоросборниками.

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 со-

Таблица 4.8

Критерии оценки загрязненности воды

Показатели	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л, для водопользования	
		санитарно-бытового	рыбохозяйственного
Растворенный кислород	Общесанитарный	$\geqslant 4$	$\geqslant 6$
$БПК_{полн}$	»	3 и 6	$\leqslant 3$
NH_4^+ (по азоту)	»	$\leqslant 2$*	—
Бензол	—	$\geqslant 0{,}5$	$\geqslant 0{,}5$
Окисляемость:			
перманганатная	—	$\leqslant 10$	—
бихроматная	—	$\leqslant 30$	—
Fe (Fe^{3+})	Органолептический	$\leqslant 0{,}5$	—
Фенолы	То же	$\leqslant 0{,}001$	$\leqslant 0{,}001$
Нефтепродукты	»	$\leqslant 0{,}3$	$\leqslant 0{,}05$
Экстрагируемые вещества	»	$\leqslant 0{,}1$	$\leqslant 0{,}05$
NO_3^- (по азоту)	Санитарно-токсикологический	$\leqslant 10$**	—
F^-	То же	$\leqslant 1{,}5$	$\leqslant 1{,}5$

* Или 2,57 мг/л NH_4^+.

** Или 44 мг/л NO_3^-.

ответственно 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.

Некоторые данные о предельно допустимой концентрации вредных веществ приведены в табл. 4.7.

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 канализацию 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 канализацию 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 пре-

дельно допустимых концентраций: например, урана-240— не более $1 \cdot 10^{-7}$ 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 канализования независимо от их ведомственной принадлежности. Согласование с органами Государственного санитарного надзора и Рыбоохраны 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 канализации, очистки и обезвреживания сточных вод. Критерии оценки загрязненности воды приведены в табл. 4.8.

§ 89. 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

$$C_{ст}\, q + C_р\, aQ \leqslant (aQ + q)\, C_{пр\,д}, \qquad (4.32)$$

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);

$C_р$ — 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.

Из формулы (4.32) путем алгебраического преобразования получим значение $C_{ст}$, т. е. концентрации, которая должна быть достигнута в процессе очистки и обезвреживания сточных вод:

$$C_{ст} \leqslant \frac{aQ}{q}(C_{пр\,д} - C_р) + C_{пр\,д}, \qquad (4.32а)$$

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;

$C_р$ и $C_{пр.д}$ — определяются на основе специально организуемых исследований, если отсутствуют установленные нормативы или литературные данные.

Створы ближайших (от места выпуска сточных вод) пунктов водопользования в каждом конкретном случае устанавливаются органами Государственного надзора с обязательным учетом данных о перспективах использования водоема для питьевого водопользования и культурно-бытовых нужд населения.

Значение расчетного показателя загрязнения сточных вод $C_{ст}$, определяемое расчетом для нового или для существующего объекта и положенное в основу проектирования очистных сооружений, приобретает значение контрольной величины на период эксплуатации этих сооружений.

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

$$aQb + qm = (aQ + q)(b + p), \qquad (4.33)$$

откуда

$$m = p\,(aQ/q + 1) + b, \qquad (4.33а)$$

где b — содержание взвешенных веществ в воде водоема до спуска сточных вод, г/м^3;

p — допустимое по санитарным правилам увеличение содержания взвешенных веществ в водоеме после спуска сточных вод (в зависимости от вида водопользования), г/м^3.

Степень необходимой очистки по взвешенным веществам может быть определена по формуле

$$D = 100\,(C - m)/C, \qquad (4.34)$$

где C — количество взвешенных веществ в сточной воде до очистки, г/м^3.

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. Если в сточной воде содержатся взвешенные частицы, не удовлетворяющие этому требованию, то сточную жидкость перед сбросом в водоем необходимо подвергнуть отстаиванию для задержания частиц, оседающих с указанной скоростью.

В тех случаях, когда примеси к сточной воде представляют собой токсичные вещества или вещества, потребляющие большой объем растворенного в воде водоема кислорода, возможность их сброса в водоем определяется по предельно допустимой концентрации вредных веществ или по потреблению растворенного кислорода.

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.

Баланс биохимической потребности в кислороде смеси речной и сточной воды в расчетном пункте (без учета реаэрации) выражается уравнением

$$qL_{ст} \cdot 10^{-k_{ст}t} + aQL_{р} \cdot 10^{-k_{р}t} = (q + aQ)\, L_{пр.д}, \qquad (4.35)$$

где $L_{ст}$ — БПК$_{полн}$ сточной жидкости, которая должна быть достигнута в процессе очистки;

$L_{р}$ — БПК$_{полн}$ речной воды до места выпуска сточных вод;

$L_{пр.д}$ — предельно допустимая БПК$_{полн}$ смеси речной и сточной воды в расчетном створе;

$k_{ст}$ и $k_{р}$ — константы скорости потребления кислорода сточной и речной водой;

t — продолжительность перемещения воды от места выпуска сточных вод до расчетного пункта в сутках, равная отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до расчетного пункта $l_{ср}$ к средней скорости течения воды в реке на данном участке $v_{ср}$.

Отсюда

$$L_{ст} = \frac{aQ}{q \cdot 10^{-k_{ст}t}} \left(L_{пр\,д} - L_{р} \cdot 10^{-k_{р}t}\right) + \frac{L_{пр\,д}}{10^{-k_{ст}t}}. \qquad (4.35а)$$

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

$$Э = 100\,(L_a - L_{ст})/L_a.$$

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 (см. рис. 4.5). 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.

Это условие может быть выражено уравнением

$$aQO_{р} - (aQL_{р} + qL_{ст})\,0{,}4 = (aQ + q)\,4, \qquad (4.36)$$

где $O_р$ — содержание растворенного кислорода в речной воде до места спуска сточных вод, г/м³;

aQ — расчетный расход воды, м³/с, участвующей в смешении;

q — расход сточных вод, м³/с;

$L_р$ и $L_{ст}$ — $БПК_{полн}$ соответственно речной и сточной воды, г/м³;

0,4 — коэффициент для пересчета $БПК_{полн}$, определяемой лабораторным путем, в двухсуточное;

4 — наименьшая концентрация растворенного кислорода, которая должна сохраниться в воде водоема, г/м³.

Таким образом, приведенное выше уравнение составлено из условия, что весь наличный запас растворенного в водоеме кислорода $QO_р$ должен быть в такой мере израсходован на окисление органического загрязнения речной и сточной воды $(Q\,L_р+q\,L_{ст})$ 0,4, чтобы в общей смеси речной и сточной воды $(Q+q)$ концентрация растворенного кислорода была равна или больше 4 мг/л, как это требуется по санитарным правилам. Допустимая концентрация сточных вод при этом условии

$$L_{ст}=\frac{aQ}{0,4q}(O_р-0,4L_р-4)-\frac{4}{0,4},$$

или

$$L_{ст}=\frac{2,5aQ}{q}(O_р-0,4L_р-4)-10. \qquad (4.37)$$

Если полученное значение $L_{ст}$ меньше расчетной концентрации проектируемых к спуску в водоем сточных вод, то последние должны быть очищены до концентрации органических загрязнений по $БПК_{полн}$, равной концентрации $L_{ст}$, найденной расчетом.

Второй способ расчета 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 «Гидрологическом ежегоднике» и других справочниках, а для установления численных значений k_1, k_2, $O_р$ — данные наблюдений, проводившихся на других водоемах, или вычисляют по формулам, приведенным выше.

Время t перемещения речного потока от места выпуска сточных вод до того пункта в реке, где наступает максимальный дефицит кислорода, определяется по уравнению (4.30). Расчет основан на следующих предпосылках.

Первая предпосылка заключается в том, что практический интерес представляет определение $t_{кр}$, т. е. того времени от начала процесса, когда дефицит кислорода достигает наибольшей величины D_t.

Вторая предпосылка вытекает из нормативных указаний, по которым при любых условиях (т. е. при любом дефиците) в воде водоема должно оставаться 4 мг/л растворенного кислорода. Это значит, что $D_t=O_р-4$ (где $O_р$ — количество кислорода в речной воде, которое соответствует его предельной растворимости при заданной температуре; например, $O_р=9,17$ мг/л при 20° С).

Третья предпосылка определяется практической целью 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 условии в формулах (4.28) и (4.30) величина L_a является средней и определяется из уравнения

$$L_a = \frac{L_p aQ + L_{ст} q}{aQ + q}. \qquad (4.38)$$

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

$$T_{ст} = (aQ/q + 1)\, T_д + T_р, \qquad (4.39)$$

где $T_{ст}$ — температура сточных вод, при которой соблюдается санитарное требование относительно температуры воды в створе пункта водопользования;

$T_р$ — максимальная температура воды водоема до выпуска сточных вод в летнее время;

$T_д$ — допустимое повышение (не более чем на 3°) 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 (4.32а).

Полученное по этой формуле значение $C_{ст}$ характеризует концентрацию загрязнения сточных вод, которая должна быть достигнута в процессе очистки и обезвреживания сточных вод.

Географическим обществом США проводились исследования по определению кадмия, хрома, свинца и ртути в воде рек и водохранилищ и влиянию этих металлов на токсичность воды.

В ходе исследования особо отмечалась токсичность кадмия. Вода, используемая в сельском хозяйстве, согласно стандартам, не должна иметь концентрацию кадмия выше 0,005 мг/л. Этот металл особенно опасен в связи с синергическим эффектом. Высокотоксичный синергизм достигается при соединении свободных ионов циана с ионами кадмия. Для микроорганизмов это соединение токсично при концентрации 0,1 мг/л. Исследования показали, что гибель рыбы может произойти при концентрации хлорида кадмия 0,2 мг/л.

Токсичность хрома обусловлена температурой воды, значением pH, временем контакта и валентностью. Предлагаются следующие нормы безопасного содержания хрома в воде: для рыбы — 0,5 мг/л, для микроорганизмов — 5 мг/л, при использовании для нужд водоснабжения — 0,5 мг/л.

Свинец должен полностью отсутствовать в водопроводной воде. Хотя элементарный свинец не является отравляющим веществом, его долгое употребление может привести к серьезным отравлениям. Соли свинца представляют собой высокотоксичные соединения.

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 ана-

лизе, 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 $Ca(HCO_3)_2$ и магния $Mg(HCO_3)_2$, обусловливающие 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 углекислоты увеличивается.

Реакция нейтрализации (например, серной кислоты) в водоеме за счет гидрокарбонатов кальция протекает по формуле

$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2. \qquad (4.40)$$

Поступление в водоем вместе со сточными водами щелочей приводит к взаимодействию их со свободным диоксидом углерода, что увеличивает щелочность водоема. Реакция в этом случае может протекать по формуле

$$2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O.$$

При сбросе в водоем кислых сточных вод следует нормировать их по значению pH речной воды:

$$pH_ф = pk_1 + \lg \frac{n_р A \left[HCO_3^-\right] - n_ф B}{n_р A \dfrac{CO_2}{44} + n_ф B} \geqslant 6{,}5, \qquad (4.41)$$

где pk_1 — отрицательный логарифм первой константы диссоциации угольной кислоты;

$\left[HCO_3^-\right]$ — концентрация гидрокарбонатов, мг-экв/л;

CO_2 — концентрация диоксида углерода, мг/л;

$$A = 1 + 10^{pH_ф - pk_1},$$

$$B = \left[HCO_3^-\right] - \frac{CO_2}{44} 10^{pH_ф - pk_1};$$

$n_р$ и $n_ф$ — кратности разбавления, расчетная и фактическая;

$pH_ф$ — pH речной воды в контрольном пункте при фактическом режиме.

При сбросе в водоем щелочных сточных вод также определяется значение pH речной воды:

$$pH_ф = pk_1 + \lg \frac{n_р A \left[HCO_3^-\right] - 0{,}273 n_ф B}{n_р A \dfrac{CO_2}{44} - n_ф B} \leqslant 8{,}5, \qquad (4.42)$$

где

$$A = 0{,}273 - 10^{pH_ф - pk_1};$$

параметр B определяется так же, как и при сбросе кислых сточных вод.

Глава XVI

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И СХЕМЫ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ

§ 90. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ОСАДКА

Методы, применяемые для очистки сточных вод, могут быть разделены на три группы: 1) механические; 2) физико-химические и 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 бóльшую 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 (коагулянт 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 диффундирования 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 м³ 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 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 непременное 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 pH 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/сутки 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 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 бы-

товых 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 ила 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, фильтрпрессование, центрифугирование. Создаются эффективные аппараты по термической сушке и сжиганию осадков. Важное значение приобретает утилизация осадков в качестве органо-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» (см. гл. XV).

§ 91. 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 рис. 4.9 показана схема механической очистки бытовых сточных вод со следующим расположением сооружений: решетки для задержания крупных веществ органического и минерального происхождения; песколовки для выделения тяжелых минеральных загрязнений (главным об-

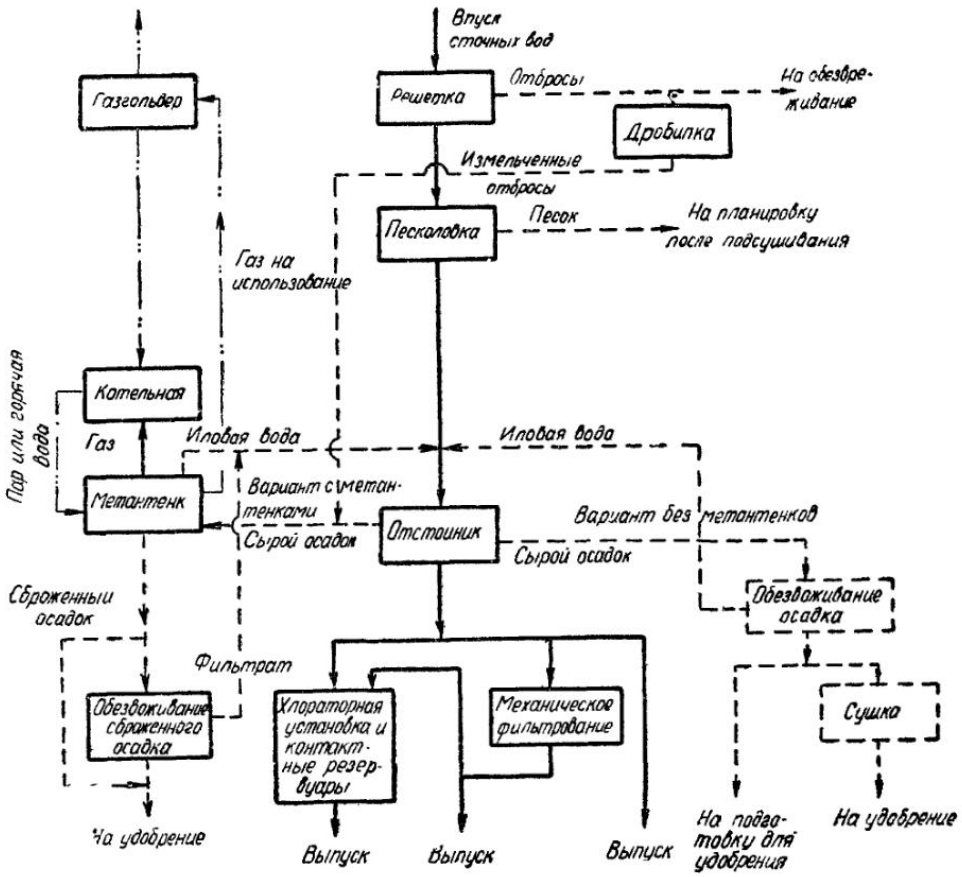


Рис. 4.9. Схема механической очистки сточных вод

разом 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.

Осадок из отстойников направляется непосредственно на иловые площадки для подсушивания или сначала в метантенки для сбраживания; 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.

Схема химической очистки сточных вод аналогична схеме № 1 для механической очистки и отличается от нее только введением перед отстойником смесителя и реагентного хозяйства.

Решетки и песколовки расположены в той же последовательности, что и на схеме № 1.

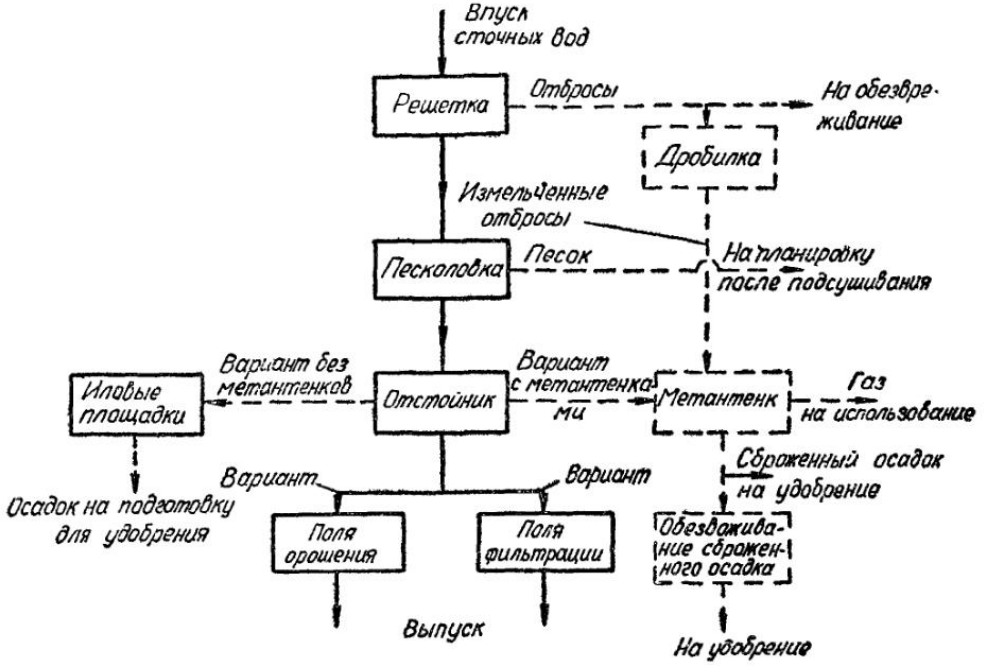


Рис. 4.10. Схема биологической очистки сточных вод на полях орошения или на полях фильтрации

Из этих сооружений сточная вода поступает в смеситель, где к ней добавляется реагент для коагулирования. Из смесителя сточная вода направляется в отстойник для осветления. Сточная вода из отстойника выпускается или прямо в водоем, или сначала на фильтр для дополнительного осветления, а потом в водоем. Перед выпуском в водоем по требованию органов Государственного санитарного надзора сточные воды могут быть подвергнуты дезинфекции.

Сооружения для обработки осадка — такие же, как и при механической очистке сточных вод. Сбраживание осадка в метантенках производится при значительном (~50%) содержании в нем органических веществ.

На рис. 4.10—4.12 показаны схемы очистки сточных вод в тех случаях, когда по местным условиям требуется биологическая очистка.

По схеме, представленной на рис. 4.10, сточная вода, пройдя через решетки, поступает в песколовки и затем в отстойники для осветления и дегельминтизации, откуда она направляется на поля орошения или на поля фильтрации и затем в водоем. Применение отстойников для удаления нерастворимых веществ позволяет увеличивать нагрузку на поля; кроме того, отстойники улучшают качество сточной воды с санитарно-гигиенической точки зрения. Осадок из отстойников обрабатывается так же, как и в описанных выше схемах.

По схеме, приведенной на рис. 4.11, 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 рис. 4.12, предварительная очистка сточной воды производится на решетках, в песколовках, преаэраторах и отстой-

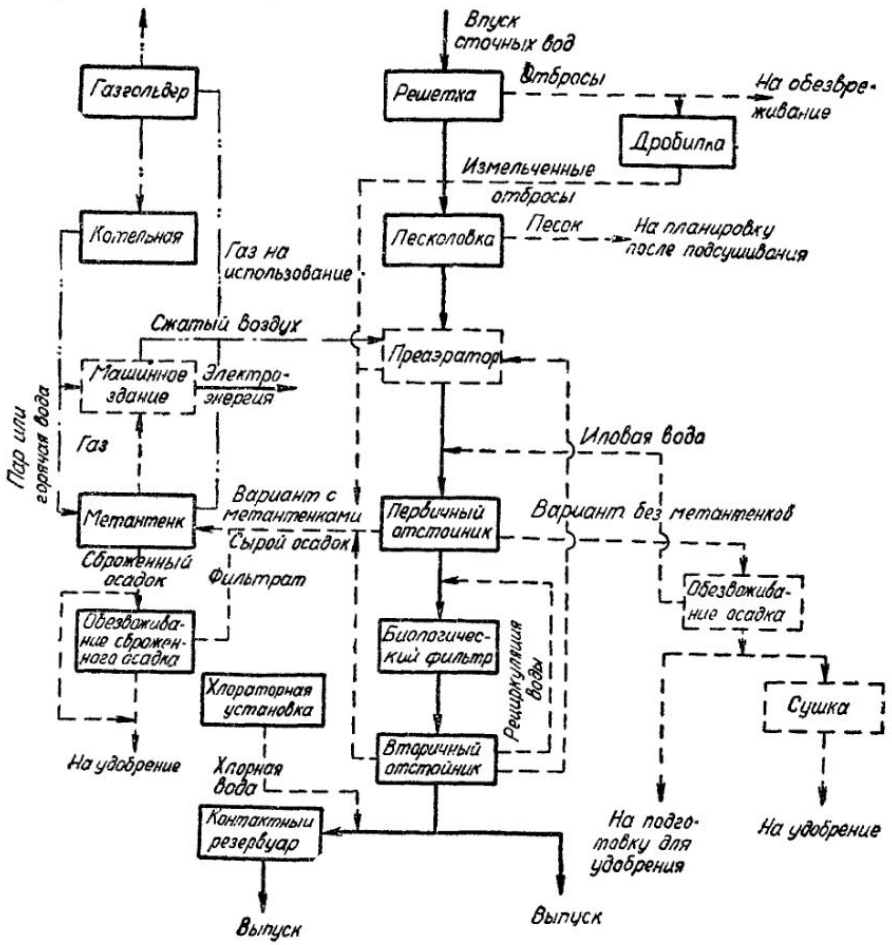


Рис. 4.11. Схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах

никах. 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 схеме № 4 (см. рис. 4.12, *а*) 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

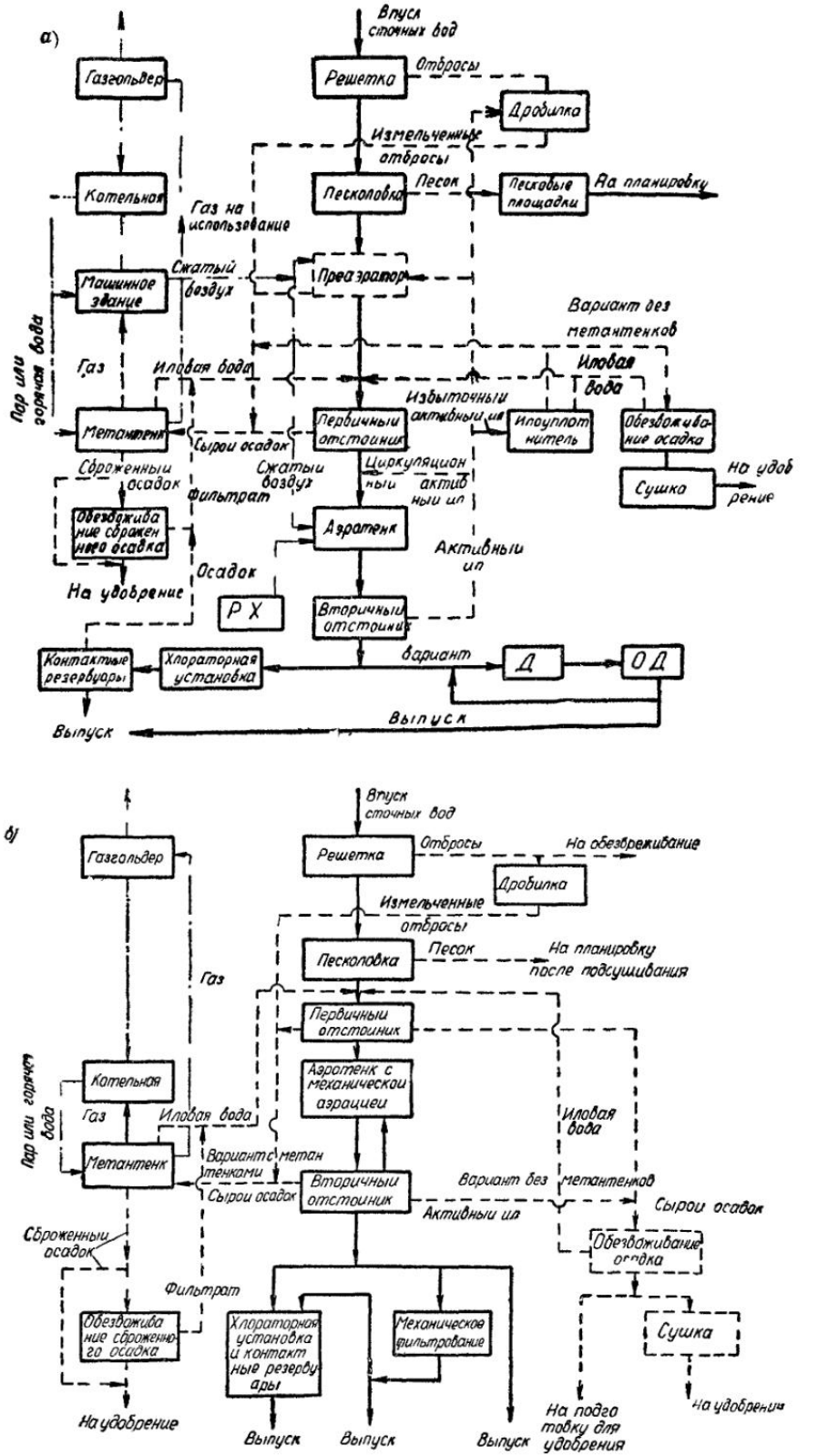


Рис 4 12 Схема биологической очистки сточных вод в аэротенках

а — с пневматической аэрацией, *б* — с механической аэрацией

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. 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.

Опыт эксплуатации московских городских сооружений биологической очистки бытовых сточных вод и сточных вод предприятий химической, нефтеперерабатывающей, текстильной, металлургической и других отраслей промышленности показывает, что совместная очистка различных производственных сточных вод с бытовыми обеспечивает высокую надежность и весьма экономична.

Однако опыт эксплуатации таких систем показывает, что здесь возникает целый ряд проблем. Вредное влияние производственных сточных вод сказывается на работе канализационных сетей, а также станций малой пропускной способности, где залповые сбросы производственных стоков, содержащих кислоты, щелочи, хром и цианиды, полностью нарушают работу сооружений биологической очистки. Даже на крупных московских станциях, принимающих 1,2—1,5 млн. м^3/сутки сточных вод, наблюдаются эпизодические нарушения эксплуатации из-за поступления мазута.

Под влиянием сброса производственных стоков изменяется состав сточных вод. С улучшением благоустройства городов водопотребление увеличивается, концентрация сточных вод по $БПК_5$ 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 канализацию. В этом случае контроль за сбросом производственных стоков в городскую канализацию 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 канализации 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 $(Q_{сут})_{ср}$, м^3/сутки;

максимальный суточный $(Q_{сут})_{макс}$, м³/сутки;
средний часовой и секундный $(Q_ч)_{ср}$, м³/ч, м³/с, л/с;
максимальный часовой и секундный $(Q_ч)_{макс}$, м³/ч, м³/с;
минимальный часовой $(Q_ч)_{мин}$, м³/ч, м³/с.

Приведенные выше характеристические расходы сточных вод определяются следующим образом: $(Q_{сут})_{ср}$ получается путем суммирования среднесуточных расходов бытовых и производственных сточных вод; среднесуточный расход бытовых сточных вод получается путем умножения удельного водоотведения q, выраженного в л/чел.-сутки, на число жителей $N_{расч}$:

$$(Q_{сут})_{макс} = K_{сут}\,(Q_{сут})_{ср},$$

где $K_{сут}$ — коэффициент суточной неравномерности расхода сточных вод;

$$(Q_ч)_{ср} = (Q_{сут})_{ср}/24;$$

$$(Q_ч)_{макс} = (Q_ч)_{ср}\,K_{сут}\,K_ч = (Q_ч)_{ср}\,K_{общ};\quad (Q_ч)_{мин} = (Q_ч)_{ср}/K_{общ},$$

где $K_ч$ — коэффициент часовой неравномерности расхода сточных вод;
$K_{общ}$ — коэффициент общей неравномерности расхода сточных вод.

Таблица 4.9

Значения $P_{мин}$ и $P_{ср}$ в зависимости от $K_ч$

$K_ч$	$P_{мин}$, %	$P_{ср}$, %	$K_ч$	$P_{мин}$, %	$P_{ср}$, %
1,2	2,25	4,95	1,5	1,6	5,7
1,25	2	5,15	1,6	1,55	5,8
1,3	1,9	5,3	1,7	1,25	5,95
1,35	1,85	5,35	1,8	1,25	6
1,4	1,65	5,6	1,9	1,1	6,05

Иллюстрацией степени неравномерности притока бытовых сточных вод на очистные сооружения может служить табл. 4.9, в которой представлена зависимость $P_{мин}$ и $P_{ср}$ от $K_ч$. Процентные соотношения характеристических расходов $P_{мин}$ и $P_{ср}$ определены согласно следующим уравнениям:

$$P_{мин} = \frac{(Q_ч)_{мин}}{(Q_{сут})_{ср}}\,100;\quad P_{ср} = \frac{(Q_ч)_{ср}}{(Q_{сут})_{макс}}\,100,$$

где $(Q_ч)_{ср}$ 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 $N_{экв}$ называется такое число жителей, которое вносит такое же количество загрязнений, что и данный расход производственных сточных вод.

Сумма расчетного $N_{расч}$ и эквивалентного $N_{экв}$ числа жителей называется приведенным населением $N_{пр}$.

В качестве примера в табл. 4.10 приведены числа $N_{экв}$, определенные по $БПК_5$ для различных производственных сточных вод, поступающих в городскую канализацию.

Таблица 4.10

Число эквивалентных жителей $N_{экв}$, приведенное Имгоффем на основании американских данных

Промышленное предприятие	Единица	$N_{экв}$
Молочный завод без сыроварни	1000 л молока	30—80
То же, с сыроварней	То же	100—250
Свеклосахарный завод	1 т свеклы	120—400
Пивоваренный »	1000 л пива	300—2000
Крахмалопаточный завод	1 т кукурузы или пшеницы	800—1000
Кожевенный »	1 т кож	1000—4000
Красильня (сернистые красители)	1 т товара	2000—3500
Бумажная фабрика	1 т бумаги	100—300

Правильное определение притока сточных вод на очистную станцию и связанных с этим характеристических расходов является очень важным, поскольку составление проекта очистной станции на основании слишком малых или слишком больших величин может повлечь необоснованные затраты. 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 характеристических 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 санитарного оборудования квартир.

Глава XVII

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

§ 92. 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 возможно 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 (рис. 4.13), поставленных на пути движения сточных вод.

Очистка решеток от задержанных ими отбросов производится механизированно. Снятые с решеток отбросы подаются в дробилку.

Ручная очистка решетки допускается на небольших очистных станциях при объеме отбросов, задерживаемых решетками, менее 0,1 м^3 в сутки. Удаление отбросов для обезвреживания в этом случае должно производиться в закрытых контейнерах.

Союзводоканалниипроект разрабатывает механизированную наклонную решетку РМК-1000 с канатным тяговым элементом грабель и подъемом отбросов со стороны движения потока сточной воды. Применение таких решеток позволит снизить стоимость строительства и улучшить условия эксплуатации.

Транспортирование отбросов от решеток к дробилкам должно быть механизировано.

Наиболее часто применяемые формы сечений стержней решеток представлены на рис. 4.13, *а*. Круглая форма стержней 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.

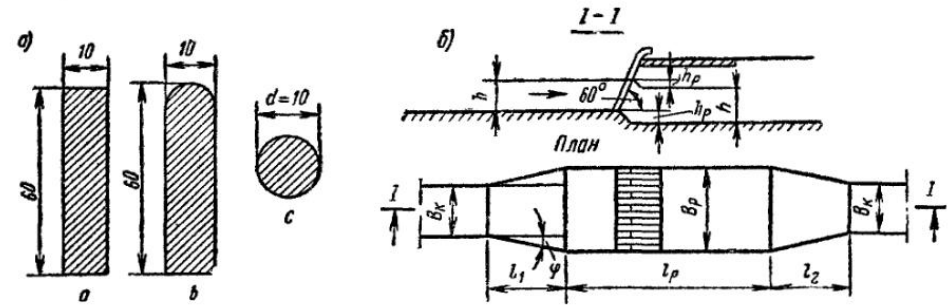


Рис. 4.13. Профили стержней (*а*) и схема установки решетки (*б*) (размеры в мм)

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 $\varphi = 20°$ (см. рис. 4.13, *б*). Если ширина подводящего канала $B_к$ и общая ширина решетки $B_р$, то длина уширения перед решеткой l_1 должна быть:

$$l_1 = (B_р - B_к)/(2 \operatorname{tg} \varphi) = 1{,}37\,(B_р - B_к). \qquad (4.43)$$

Длина уширения после решетки принимается $l_2 = 0{,}5\,l_1$.

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 менее удвоенной площади живого сечения подводящего канала при ручной очистке и не менее 1,2 живого сечения при механической очистке.

Эффект работы канализационных 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 $h_р$ в решетке (подпор, создаваемый решеткой) могут быть определены по формуле

$$h_р = \xi v^2 p/(2g), \qquad (4.44)$$

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 $p=3{,}36v_р-1{,}32$ ($v_р$ — скорость в прозорах решетки) или принимать ориентировочно равным 3;

ξ — коэффициент местного сопротивления решетки, зависящий от формы стержней:

$$\xi = \beta (s/b)^{4/3} \sin \alpha; \qquad (4.45)$$

здесь β — коэффициент, принимаемый по данным табл. 4.11;

s — толщина стержня, м;

b — ширина прозоров между стержнями решетки, м;

α — угол наклона решетки к горизонту.

Во избежание образования подпора перед решеткой и заиления 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

$$q = \omega v_р = bnh_1 v_р \text{ или } n = \frac{q}{bh_1 v_р}, \qquad (4.46)$$

где q — максимальный расход сточных вод, м³/с;

ω — площадь живого сечения (площадь прозоров) решетки, м²;

$v_р$ — средняя скорость воды в решетке, м/с;

h_1 — глубина воды перед решеткой, м.

Однако эти формулы не учитывают стеснение потока граблями (при механизированной очистке) и задержанными загрязнениями. Это стеснение можно учесть коэффициентом $K_з=1{,}05$. Тогда

$$n = \frac{q}{bh_1 v_р} K_з. \qquad (4.47)$$

При известном числе прозоров n общая ширина решетки

$$B_р = s(n-1) + bn. \qquad (4.48)$$

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 канализацией, при ширине прозоров 16—20 мм принимают 6 л.

Таблица 4.11

Значение коэффициента β

Форма стержня по рис. 4.13	*a*	*b*	*c*
β	2,42	1,83	1,79

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 м³ сточных вод; на станциях с меньшей пропускной способностью (до 50 тыс. м³/сутки) такими решетками задерживается 30—50 л отбросов. Влажность удаляемых с решетки отбросов составляет 80%, зольность — 7—8%; их плотность равна 750 кг/м³.

При объеме отбросов 0,1 м³ 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 м³ на 1 т отбросов.

Механизированная очистка решеток производится движущимися граблями, приводимыми в движение от электродвигателя. Грабли движутся

с верховой или низовой стороны решетки (по движению воды; рис. 4.14). Расход электроэнергии на работу механических граблей, транспортеров и дробилок составляет около 1 кВт·ч на 1000 м³ 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

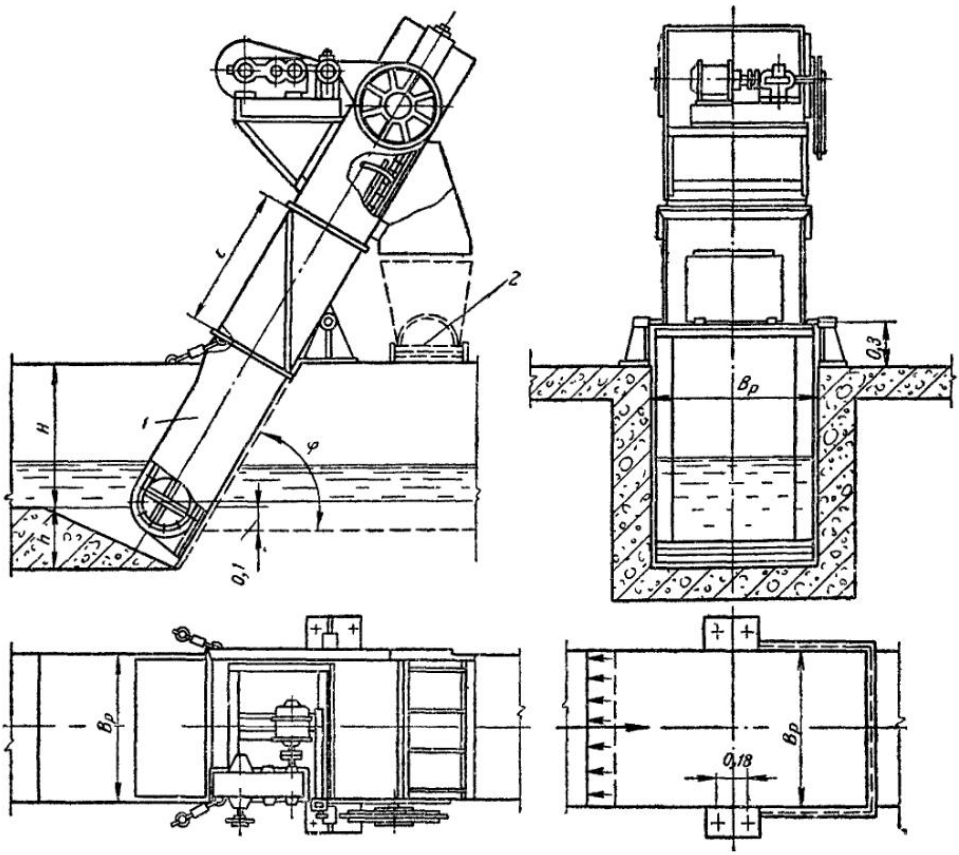


Рис. 4 14 Схема установки решетки с механизированной очисткой

1 — механизированная решетка с граблями; *2* — транспортер

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 табл. 4.12.

На рис. 4.15 показано здание решеток с четырьмя агрегатами МГ-8Т (1400×2000) или МГ-6Т (2000×2000). 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

Механизированные решетки

Пропускная способность, м³/сутки	Марка	Размер решетки, мм	Число решеток рабочих (резервных)
1 400—17 000 25 000—35 000	РММВ-1000	—	1(1) 2(1)
50 000	МГ-11Т	1000×1600	2(1)
70 000	МГ-11Т	1000×1600	2(1)
100 000	МГ-8Т	1400×2000	2(1)
140 000	МГ-8Т	1400×2000	2(1)
200 000	МГ-8Т	1400×2000	3(1)
280 000	МГ-6Т	2000×2000	3(1)

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 четырех установленных 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 трубопроводу $d=200$ мм.

В состав установки входят дробилка Д-3 с электродвигателем и ленточные конвейеры (горизонтальный и наклонный).

Дробилки Д-3 имеют пропускную способность 0,3—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.

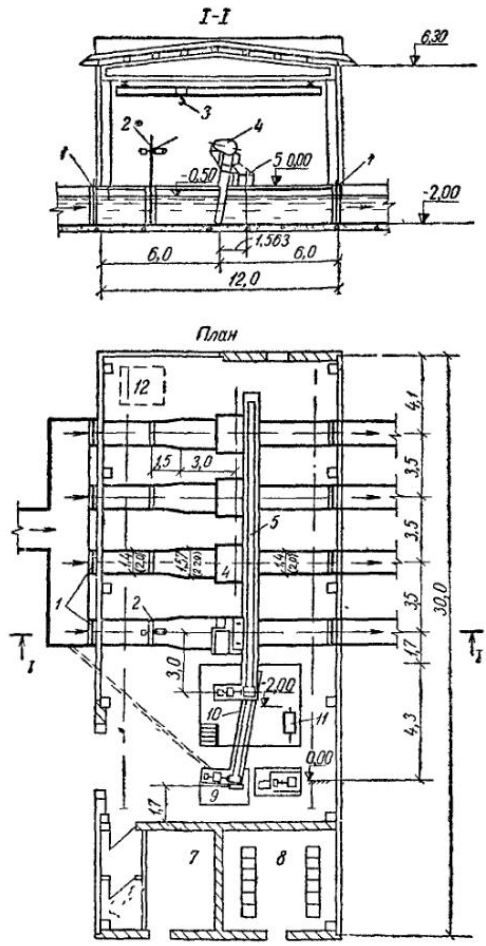


Рис. 4.15. Здание решеток с механизированной очисткой пропускной способностью 70—280 тыс. м³/с

1 — затвор щитовой типа шандора; *2* — затвор щитовой с электродвигателем; *3* — кран-балка подвесная ручная, *4* — решетка с механизированной очисткой; *5* — конвейер ленточный горизонтальный; *6* — санитарный узел; *7* — вентиляционная камера; *8* — помещение для щитов автоматики; *9* — насос 5ПС-10 для перекачки песка из песколовок в бункера; *10*—конвейер ленточный наклонный; *11* — насос ВКС-2/26 для подачи воды в дробилки, *12* — дробилка

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 мусорообрабатывающих заводах, как, например, это делается в Минске и Могилеве.

§ 93. КОМБИНИРОВАННЫЕ РЕШЕТКИ-ДРОБИЛКИ

Комбинированные решетки-дробилки предназначены для задержания и измельчения твердых отбросов, находящихся в бытовых или близких к ним по составу производственных сточных водах, имеющих нейтральную или слабощелочную реакцию. Размещение установки с решет-

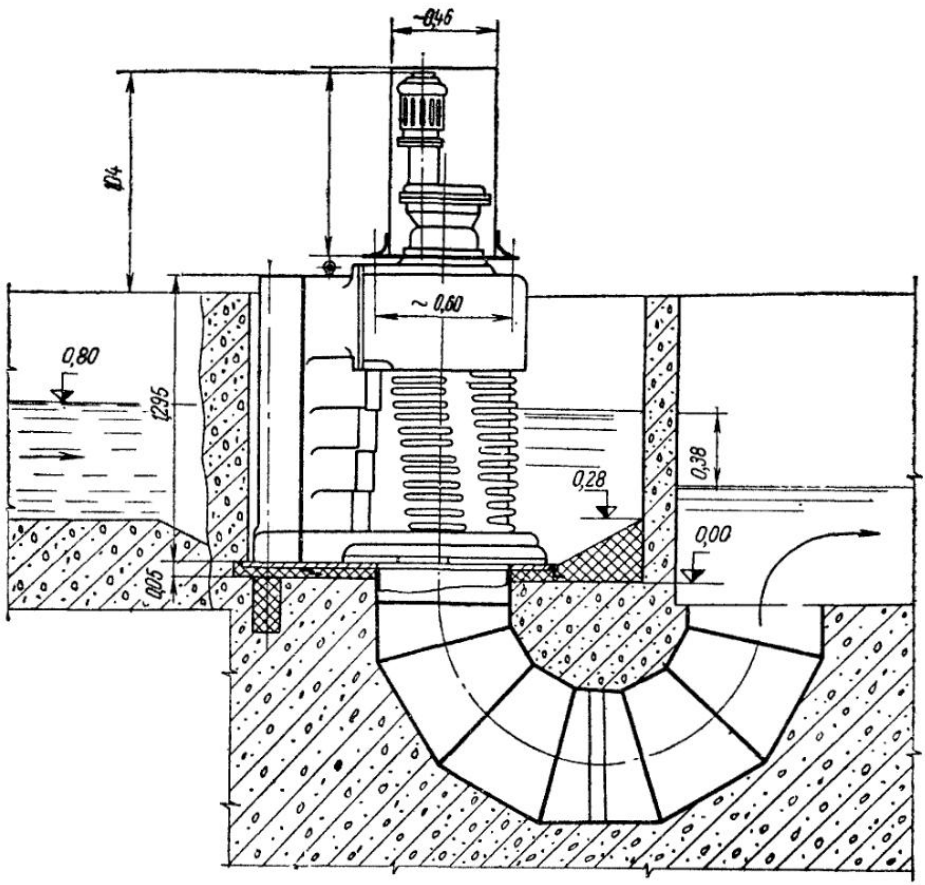


Рис. 4.16. Схема установки решетки-дробилки РД-600 при подаче сточных вод на очистные сооружения

ками-дробилками предусматривается в комплексе очистных канализационных сооружений (рис. 4. 16).

В табл. 3.18 были приведены характеристики решеток-дробилок. Наиболее эффективны круглые решетки-дробилки типа КРД.

Сточные воды поступают к решеткам-дробилкам самотеком или под напором.

При самотечной схеме сточные воды подводятся по каналу, разделяющемуся при подходе к решеткам-дробилкам на два отдельных лотка, в каждом из которых установлена решетка-дробилка.

При напорной подаче сточные воды по трубопроводам поступают в приемную камеру, где происходит гашение напора, и после этого по лоткам направляются к решеткам-дробилкам.

На решетках-дробилках крупные отбросы задерживаются, измельчаются и вместе с водой через дюкеры направляются в отводящие лотки и далее в общий канал.

На лотках до решеток-дробилок и после них установлены щитовые затворы с электроприводами для отключения резервной решетки-дробилки при работе основной.

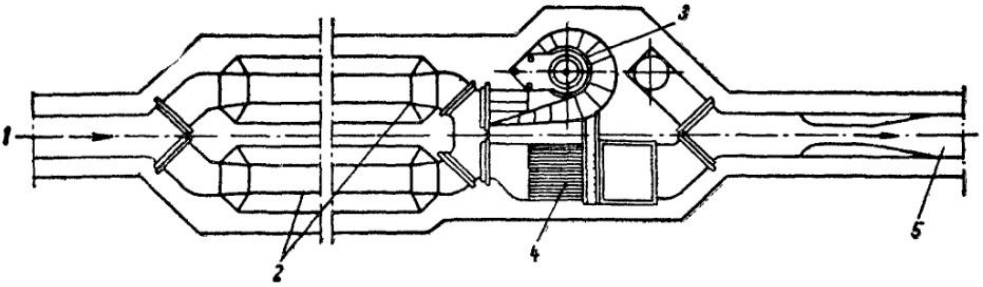


Рис. 4.17. Схема установки решеток-дробилок в блоке с песколовками

1 — впуск сточных вод; *2* — песколовки; *3* — решетка дробилка, *4* — резервная решетка с механическими граблями; *5* — выпуск с водоизмерительным лотком

При выключении из работы решетки-дробилки вода из канала и дюкера по трубопроводу опорожнения отводится в сеть канализации.

На общем подводящем канале при самотечном поступлении стоков и в приемной камере при напорной подаче стоков предусмотрены обводные (аварийные) каналы, перекрытые щитовыми затворами.

При повышении уровня воды в лотках, в случае выключения рабочей решетки-дробилки или ее засорения, автоматически включается резервная решетка-дробилка. При этом щитовые затворы на лотках с рабочей решеткой автоматически закрываются, а на лотках с резервной — открываются. Рекомендуется устанавливать резервную решетку с механизированной очисткой.

На диспетчерский пункт очистных канализационных сооружений подаются сигналы при выходе из строя рабочей решетки-дробилки и повышении уровня воды в подводящем канале.

На рис. 4.17 дана схема установки решеток в блоке с песколовками.

Применение решеток-дробилок позволяет ликвидировать ручной труд и улучшить санитарные условия на станции.

§ 94. 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 м^3/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 и 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—24 мм/с (песок крупностью 0,2—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 песколовок 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—60 с (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 канализации, протяженности сети, ее уклонов, условий эксплуатации канализации, состава производственных вод, поступающих в канализацию, и пр. По существующим нормативам для городской канализации объем осадка, выпадающего в горизонтальных и тангенциальных песколовках, принимается равным 0,02 л при полной раздельной и 0,04 л при общесплавной системе канализации на одного человека в сутки при влажности осадка в среднем 60% и плотности его 1,5 т/м^3.

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 м^3/сутки. Зольность осадка из песколовок колеблется от 85 до 95%.

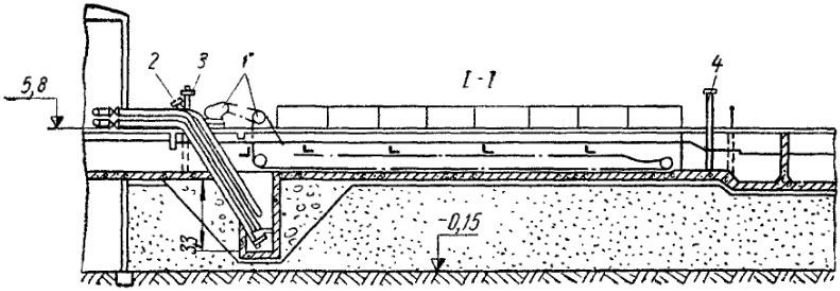
Механизированное удаление песка из горизонтальных песколовок обязательно при объеме его более 0,1 м^3 в сутки. При механизированном удалении осадка одна песколовка (или одно отделение), независимо от числа рабочих песколовок, должна быть резервной. Осадок удаляют (в зависимости от конструкции и размеров песколовки) нориями, ковшами, гидроэлеваторами, песковыми насосами и применяют гидромеханическую систему выгрузки песка из песколовок. Объем песка, задержанного в песколовках, замеряется при выгрузке.

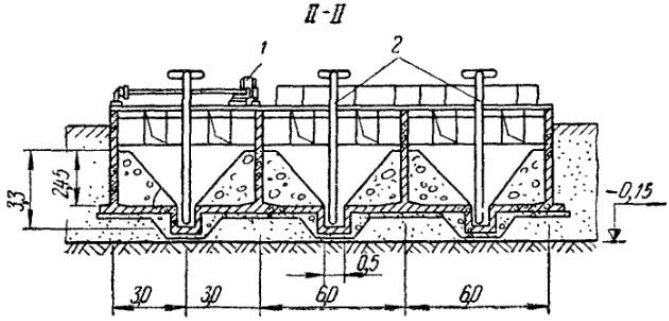
Горизонтальные песколовки

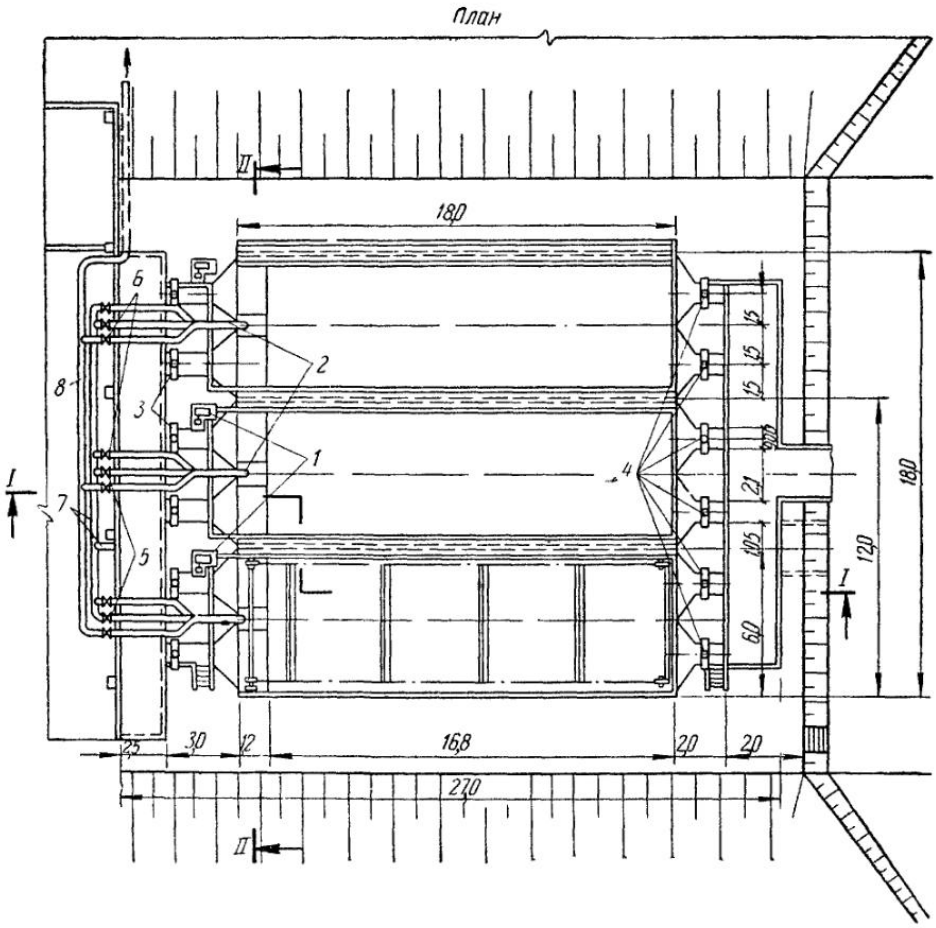
Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды представляют собой удлиненные прямоугольные в плане резервуары (рис. 4.18).

На Люберецкой станции аэрации (Москва) 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.


I - I
5,8
2
3
1
4
3,3
-0,15


II - II
1
2
3,3
2,45
-0,15
0,5
30
30
60
60


План
II
18,0
6
8
3
2
1
4
7
5
I
1,5
1,5
1,5
2,1
1,05
6,0
18,0
12,0
2,5
3,0
1,2
16,8
2,0
2,0
27,0
II

Длина проточной части песколовки, м,

$$L = 1000KvH/u_0, \quad (4.49)$$

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 (табл. 4.13);
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 4.13

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 сбраживается в метантенках или в двухъярусных отстойниках (см. гл. XVIII), 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 (4.49) 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

$$F = q_{\text{макс}}/u_0, \quad (4.50)$$

где $q_{\text{макс}}$ — максимальный приток сточных вод, м³/с.

Общая ширина песколовки при максимальном притоке

$$B = F/L. \quad (4.51)$$

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

$$W_{\text{ос}} = Npt/1000, \quad (4.52)$$

где N — число жителей, обслуживаемых канализацией;
p — объем выпадающего осадка, л/сутки на одного человека;
t — число суток между двумя чистками; во избежание загнивания органической части осадка t должно быть не более 2 суток.

Рис. 4.18. Горизонтальная песколовка с прямолинейным движением воды
1 — скребковые механизмы для удаления песка (электропривод АО42 6, $N=1,7$ кВт); *2* — гидроэлеваторы; *3* — щитовые затворы 900×1400 мм (электропривод, $N=0,6$ кВт); *4* — то же (ручной привод); *5* — задвижки с электроприводом, $D_y=200$ мм, $P=1$ МПа; *6* — то же, $D_y=250$ мм, $P=1$ МПа; *7* — трубопровод рабочей воды к гидроэлеваторам, $D_y=200$ мм; *8* — пульпопровод, $D_y=250$ мм

Для стабилизации скорости потока в песколовке при измерении расхода поступающих в нее сточных вод на отводном канале в песколовках устраиваются водосливы (рис. 4.19). Размеры их можно определить по следующим формулам (по В. И. Калицуну):

$$p = \frac{H_{макс} - K^{2/3} H_{мин}}{K^{2/3} - 1}; \qquad (4.53)$$

$$b_2 = \frac{q_{макс}}{m \sqrt{2g} (p + H_{макс})^{3/2}}, \qquad (4.54)$$

где p — перепад между дном песколовки и порогом водослива;

$H_{макс}$ и $H_{мин}$ — наполнение песколовки соответственно при максимальном и минимальном расходе и скорости $v = 0{,}3$ м/с;

$K = q_{макс}/q_{мин}$;

$q_{макс}$ и $q_{мин}$ — соответственно максимальный и минимальный расход воды в песколовке;

b_2 — ширина водослива;

m — коэффициент расхода, принимаемый для водослива равным 0,35—0,38 и зависящий от условий бокового сжатия.

Для нормальной работы песколовок 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 приводится несколько примеров конструкций горизонтальных песколовок с механизированным удалением осадка (табл. 4.14).

Таблица 4.14

Горизонтальные песколовки с плоским днищем и прямолинейным движением воды

Пропускная способность, тыс м³/сутки	Число отделений	Размеры, м		
		длина	ширина отделения	наполнение (глубина проточной части)
25	2	9	1,25	0,55
50	2	15	2,8	0.55
70	2	18	3	0,58
100	3	18	3	0,55
140	2	18	4,5	0,67
200	3	18	4,5	0,65
280	4	18	4,5	0,67

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.

К горизонтальным могут быть отнесены песколовки с круговым движением воды. На рис. 4.20 показана песколовка этого типа, оборудованная гидроэлеваторами для удаления песка.

Рис 4 19 Схема установки горизонтальной песколовки и водоизмерительного лотка на отводном канале

1 — песколовка *2* — водоизмерительный лоток

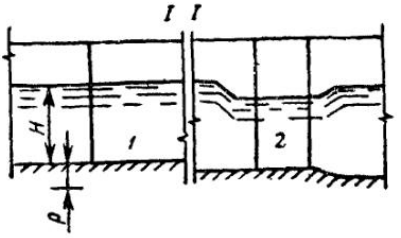
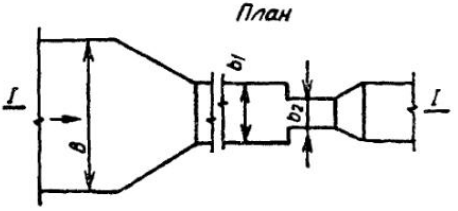
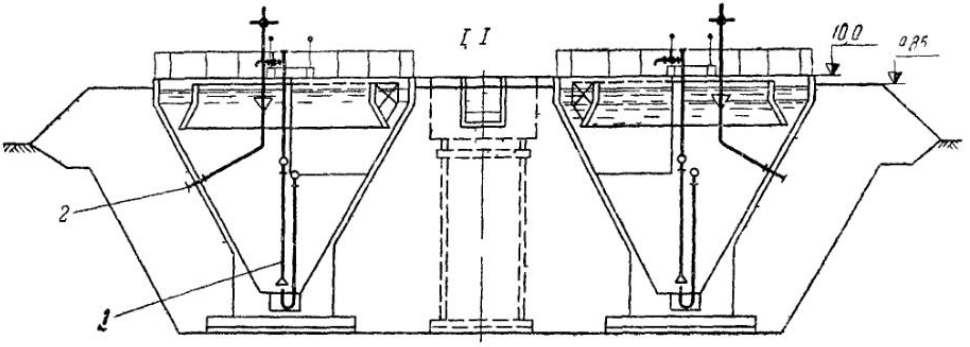
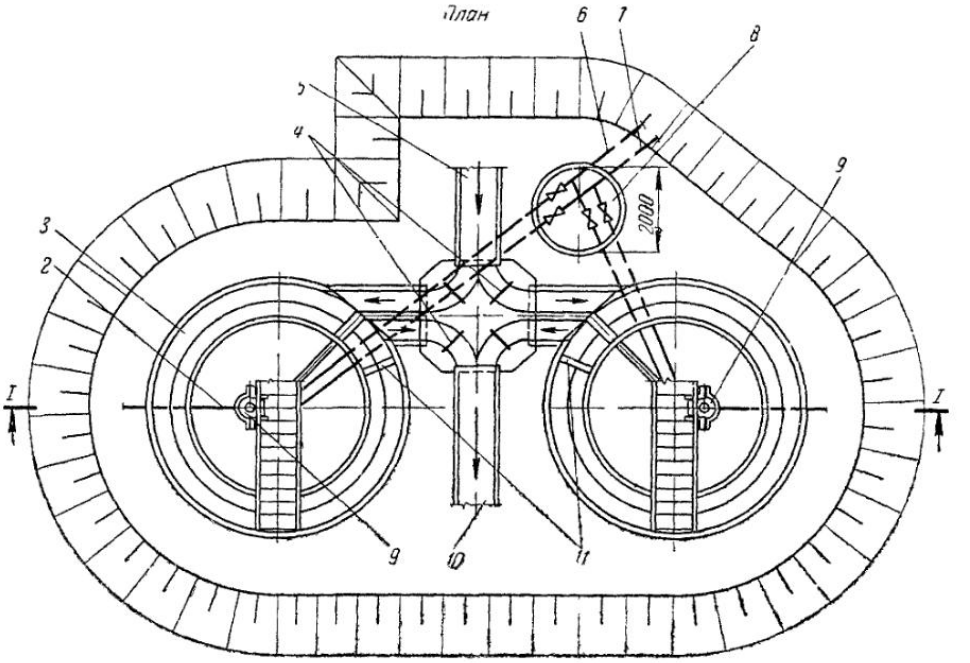


Рис 4 20 Песколовки с круговым движением воды пропускной способностью 1400—64 000 м³/сутки

1 — гидроэлеватор *2* — трубопровод для отвода всплывающих примесей *3* — желоб *4* — поверхностные затворы с ручным приводом *5* — подводящий лоток *6* — пульпопровод *7* — трубопровод для рабочей жидкости *8* — камера переключения, *9* — устройства для сбора всплывающих примесей *10* — отводящий лоток *11* — полупогружные щиты (при очистке нефтесодержащих сточных вод)







Гидроэлеваторы хорошо отмывают песок от органических примесей. Работают они автоматически по графику с помощью командного электропневматического прибора КЭП-12У. Длительность периода работы гидроэлеваторов устанавливают 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—78 м³/ (м²·ч).

Наиболее целесообразно применение этих песколовок с бункером для песка.

По опыту эксплуатации песколовок с круговым движением воды в г. Владимире в них задерживается зимой 21 л и летом 82 л (в среднем 45 л) осадка на 1000 м³ сточных вод. Зольность осадка 81—93%; содержание песка в осадке 76—86%. Песколовки работают при часовом коэффициенте неравномерности около 1,5. Оптимальная эксплуатационная нагрузка на поверхность 47.7 м³/(м²·ч).

Удаление осадка из песколовок производится каждую смену.

Применение бункера позволяет полностью механизировать удаление песка, что значительно облегчает эксплуатацию песколовок.

В табл. 4.15 приведены данные по типовым песколовкам с круговым движением воды.

Таблица 4.15

Основные показатели песколовок с круговым движением воды

Пропускная способность		Основные размеры, мм						
м³/сутки	л/с	*А*	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*
1 400— 2 700	31—56	4000	6000	2000	4700	500	300	200
2 700— 4 200	56—83						300	250
4 200— 7 000	83—133						450	300
7 000—10 000	133—183		6500		4350	800	600	350
10 000—17 000	183—278	6000	10 000	2500	5000	1000	600	600
17 000—25 000	278—394					1400	900	900
25 000—40 000	394—590		11 000		4850	1500	900	900
40 000—64 000	590—920					1800	1200	900

Примечание. *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

Тангенциальные песколовки получили широкое распространение в зарубежной практике. Схема одной из них приведена на рис. 4.21. Расчет производится на задержание песка с гидравлической крупностью 18—24 мм/с (песок крупностью 0,2—0,25 мм).

Сточная вода поступает в песколовку по касательной. Особенностью песколовки является малая глубина ее проточной части. Нагрузку на песколовку принимают равной 110 м³/(м²·ч) (при максимальном притоке). Диаметр песколовки принимается не более 6 м.

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.

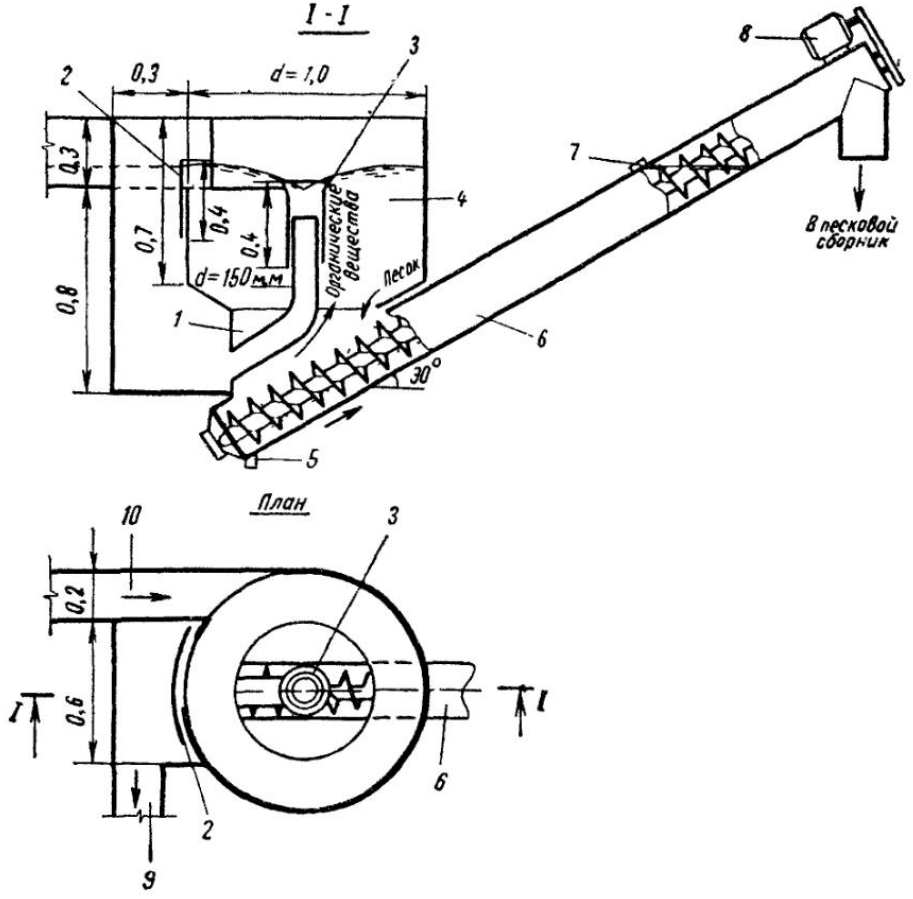


Рис. 4.21. Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой

1 — осадочная часть; *2* — подвижной боковой водослив; *3* — телескопическая труба; *4* — рабочая часть; *5* — заглушка; *6* — шнек; *7* — отверстие для сброса отмытых органических веществ; *8* — электродвигатель с редуктором; *9* — отводящий лоток; *10* — подающий лоток

Аэрируемые песколовки

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 $i=0{,}2...0{,}4$ к песковому лотку для сползания в него песка. На рис. 4.22 показаны схемы аэрируемых песколовок, применяемых в США.

Расчет аэрируемых песколовок производится из условия обеспечения вращательной скорости по периметру поперечного сечения песколовки $v_{вр}=0{,}25...0{,}3$ м/с, поступательной скорости $v_{пост}=0{,}08...0{,}12$ 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 песколовок 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

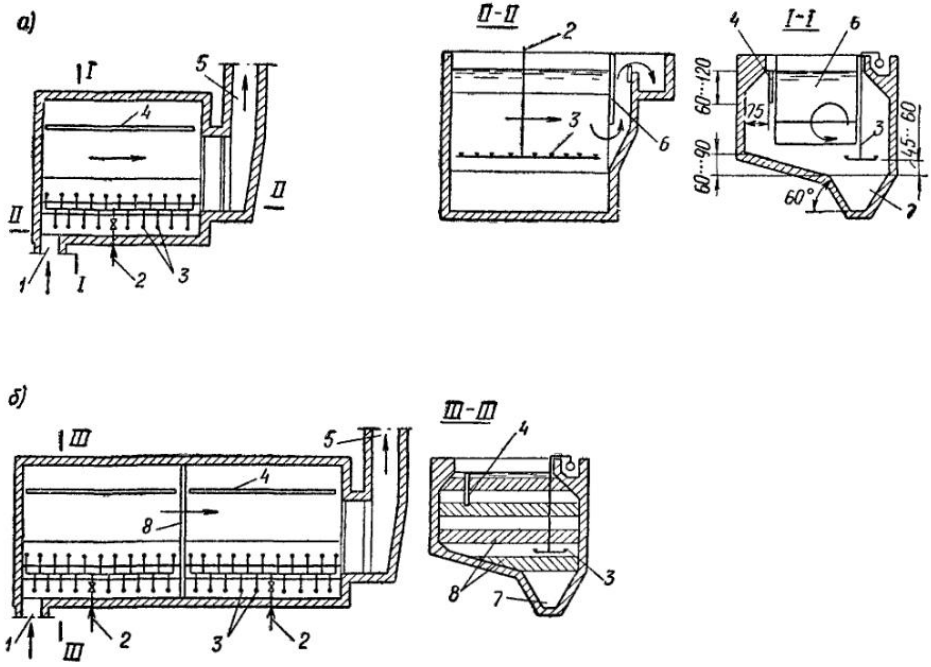


Рис. 4.22. Схемы аэрируемых песколовок, применяемых в США

а — с одним отделением; *б* — с двумя последовательными отделениями; *1* — впуск сточных вод; *2* — подвод воздуха; *3* — воздухораспределитель; *4* — продольная перегородка; *5* — выпуск сточных вод; *6* — дефлектор перед выпуском сточных вод; *7* — пескосборный желоб; *8* — поперечная перегородка

осадка. Осадок из аэрируемых песколовок содержит до 90—95% песка и при длительном хранении не загнивает. Процесс отмывки песка улучшает и его осаждение.

Аэрируемая песколовка с гидромеханической системой удаления песка, состоящей из пескового лотка и смывного трубопровода со спрысками, показана на рис. 4.23.

Аэраторы песколовок могут выполняться из пластмассовых труб с отверстиями диаметром $d=3{,}1...5$ мм и устанавливаются на глубине $(0{,}7...0{,}75)\ H$. 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 по середине днища пескового лотка. С двух сторон нижней половины трубы через 0,4 м друг от друга приварены спрыски 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.

Проведенные в МИСИ им. В. В. Куйбышева исследования позволили установить, что транспортирование осадка гидромеханической системой начинается лишь в том случае, когда под действием вертикального фильтрационного потока промывной воды, выходящей из спрысков, происходит расширение и переход осадка из плотного неподвижного состояния в псевдоожиженное.

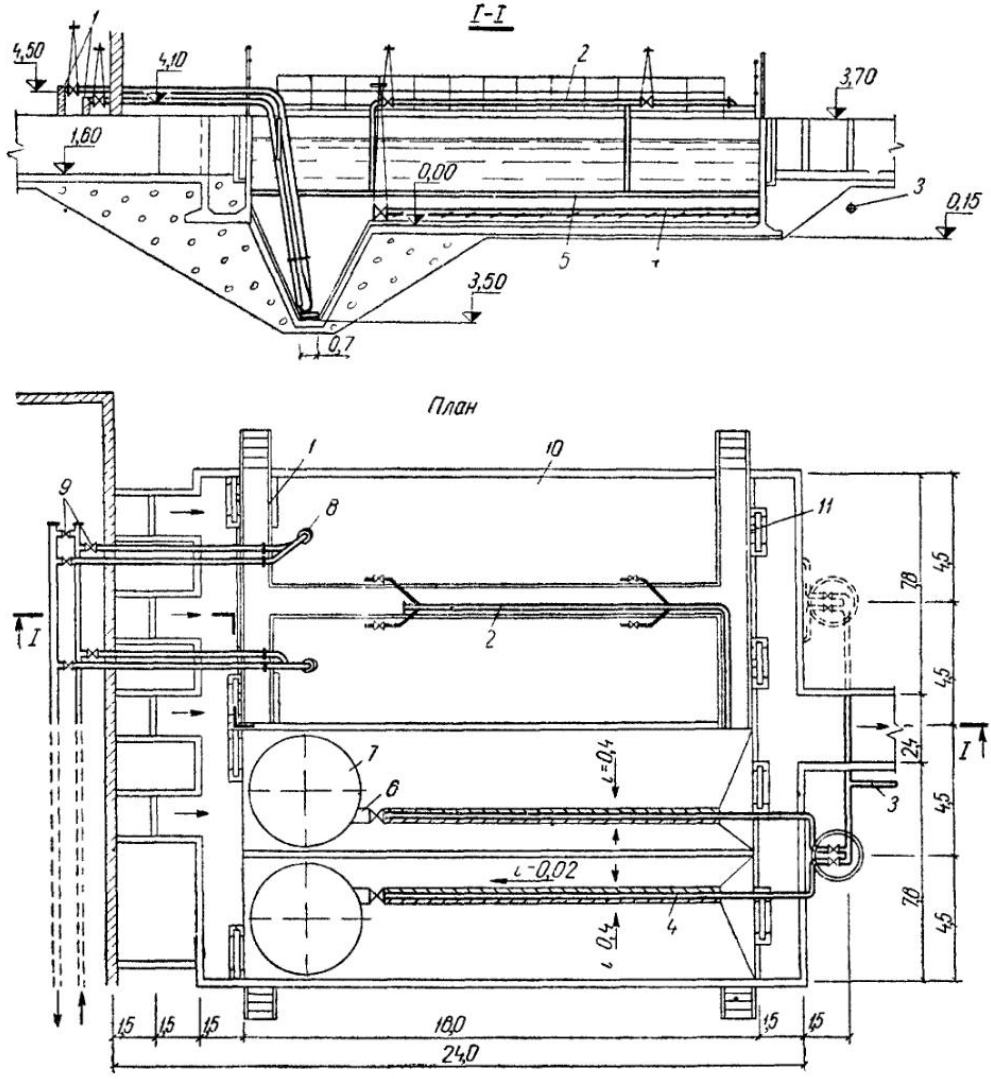


Рис 4 23 Аэрируемая песколовка с гидромеханическим удалением песка

1 — отражательные щиты, *2* — воздуховод; *3* — трубопровод для гидросмыва; *4* — смывной трубопровод со спрысками, *5* — аэраторы, *6* — песковой лоток, *7* — песковой бункер; *8* — гидроэлеваторы, *9* — задвижки, *10* — отделение песколовки, *11* — щитовые затворы

Расход промывных вод, подаваемых насосом в гидромеханическую систему, определяется по формуле

$$Q_н = vF = vlb, \qquad (4.55)$$

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;

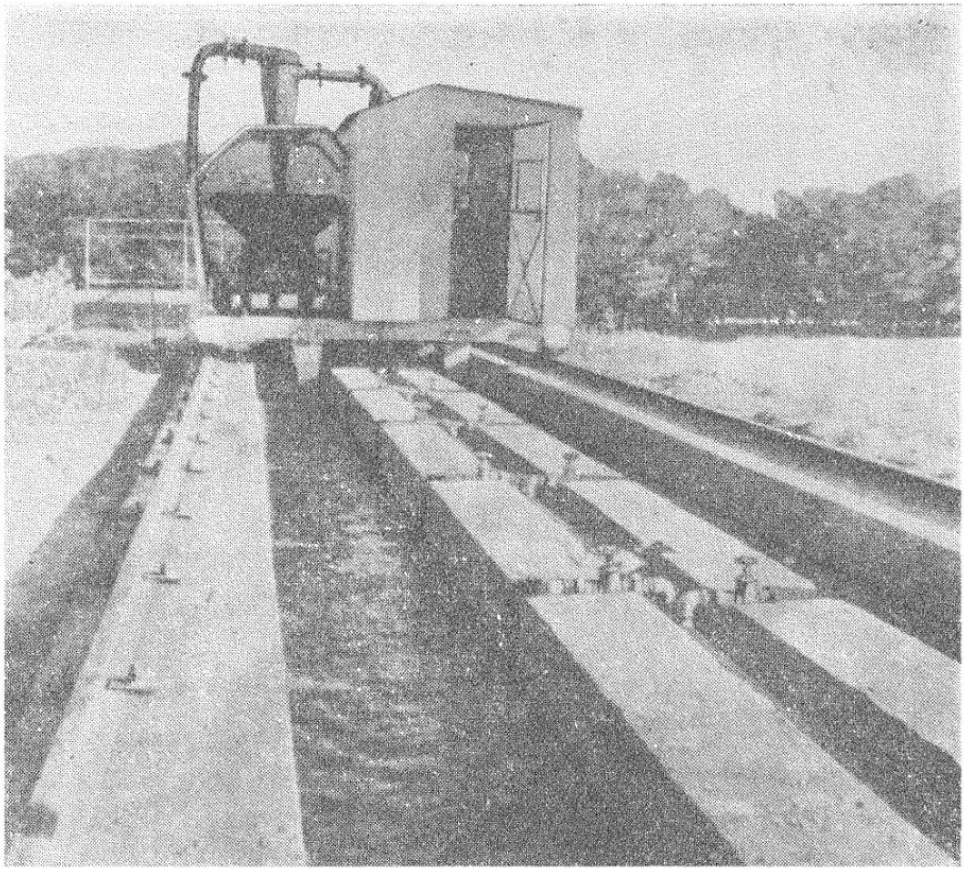


Рис. 4.24. Аэрируемая песколовка станции аэрации г. Прушков (ПНР)

l — длина пескового лотка, определяемая как разность длины песколовки и диаметра бункера; например, для аэрируемой песколовки, разработанной ЦНИИЭП инженерного оборудования (см. рис. 4.23), она будет равна 13,7 м;
инженерного оборудования, она будет равна 13,7 м;

b — ширина пескового лотка, обычно равная 0,5 м.

Оптимальный расход промывной воды 0,03—0,09 м³/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

$$H_0 = 5{,}6h_0 + 5{,}4v_{тр}^2/(2g), \tag{4.56}$$

где h_0 — максимальная высота слоя осадка в лотке (может быть равна глубине лотка 0,5 м);

$v_{тр}$ — скорость в начале смывного трубопровода, зависящая от расхода промывной воды и диаметра смывного трубопровода; $v_{тр} \approx 3$ м/с.

Напор, создаваемый насосом, определяется по формуле

$$H_н = H_0 + \Delta h, \tag{4.57}$$

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.

На рис. 4.24 представлен общий вид аэрируемой песколовки очистной станции г. Прушков (ПНР) с гидроциклоном для отмывки песка.

Основные параметры песколовок приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Аэрируемые песколовки

Пропускная способность, тыс. м³/сутки	Число отделений	Размеры, м			Отношение b/h	Расход воздуха на аэрацию, м³/ч, при интенсивности аэрации 3 м³/(м² · 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

Бункера, площадки и аппараты для обезвоживания песка

Поскольку песок из песколовок транспортируется по трубопроводам с большим объемом воды, необходимо его обезвоживать. Для этого устраивают бункера, песковые площадки или накопители песка, обычно располагаемые вблизи песколовок, и применяют гидроциклоны, в которых при промывке песка происходит и его обезвоживание.

На станциях пропускной способностью до 75 тыс. м³/сутки для обезвоживания песка рекомендуются песковые бункера (рис. 4.25), приспособленные для погрузки песка в автотранспорт. Бункера рассчитывают на 1,5—9-суточное хранение песка; их располагают как вне здания, так и в здании в зависимости от климатических условий. 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.

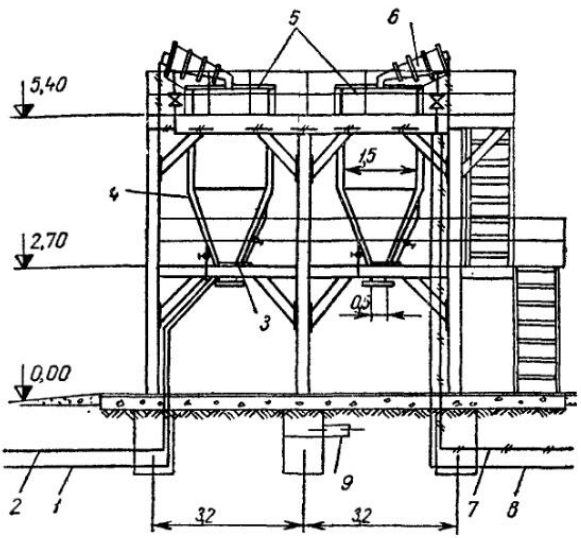


Рис. 4.25. Бункера для песка

1 — подвод воды в систему отопления; *2* — отвод воды из системы отопления; *3* — затвор с электроприводом; *4* — теплоизоляция; *5* — бункера; *6* — гидроциклон; *7* — отвод воды от гидроциклонов; *8* — подвод пульпы к гидроциклонам; *9* — отвод воды в канализацию

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 классификаторов.

§ 95. ОТСТОЙНИКИ

Классификация отстойников

Отстаивание является наиболее простым и часто применяемым в практике способом выделения из сточных вод грубодисперсных 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* — 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 (см. рис. 4.2). 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 био-

логических 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 $Re \leqslant 2$ является формула Стокса

$$u_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{\rho_1 - \rho}{\mu} g d^2,$$

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.

Формула Стокса верна при некоторых допущениях. Во-первых, частицы должны иметь форму шара. Поскольку взвешенные частицы далеки от шарообразной формы, вводится понятие «эквивалентный диаметр», который равен диаметру шарообразной частицы, имеющей одинаковую с данной частицей гидравлическую крупность.

Во-вторых, процесс осаждения должен происходить в монодисперсной агрегативно-устойчивой системе, когда частицы имеют одинаковые размеры и при осаждении не меняют своей формы и размеров.

При отстаивании сточных вод процесс происходит в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения агломерируются, изменяют свою форму, плотность и размеры; вследствие этого изменяется и скорость их осаждения. Поэтому кинетику процесса осаждения или всплывания грубодисперсных примесей сточных вод устанавливают опытным путем в лабораторных условиях для сточных вод определенного состава.

Характеристику осаждения взвешенных частиц выражают в виде графиков функциональной зависимости (рис. 4.26): эффекта отстаивания от продолжительности отстаивания или же эффекта отстаивания от гидравлической крупности частиц.

Эффект осаждения зависит от высоты слоя воды, в котором происходит отстаивание.

Глубина отстаивания H в натурных сооружениях равна 2—4 м. В лабораторных условиях кинетика процесса отстаивания сточных вод обычно изучается при меньшей высоте слоя воды.

Госкомитетом по науке и технике и техническим советом стран—членов СЭВ принято, что для сравнения результатов исследований, выполненных разными авторами, эксперименты по отстаиванию взвешенных веществ в покое должны проводиться при высоте слоя жидкости $h=$ $=500$ мм, принимаемой за эталон.

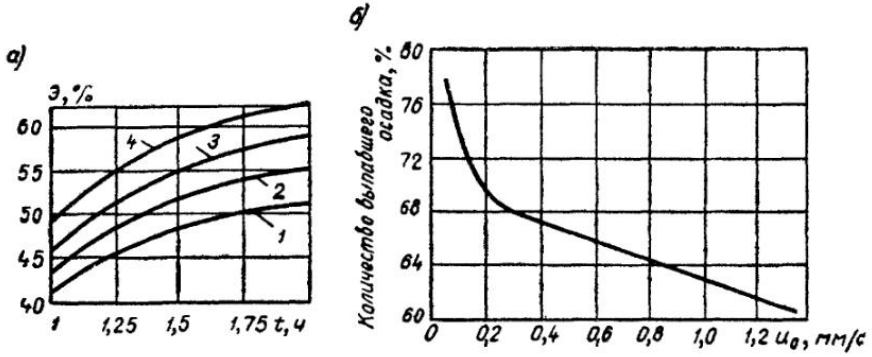


Рис. 4.26. Характеристики осаждения взвешенных веществ

а — кривые осаждения нерастворенных примесей из бытовых сточных вод в зависимости от продолжительности отстаивания при различных начальных концентрациях взвешенных веществ: *1* — C_1=200 мг/л; *2* — C_1=300 мг/л; *3* — C_1=400 мг/л; *4* — C_1=500 мг/л; *б* — кривая зависимости количества выпавшего осадка от скорости выпадения

Для агрегативно-устойчивых частиц принимается простое соотношение, позволяющее пересчитывать время T, необходимое для получения заданного эффекта очистки в отстойниках, по результатам лабораторных исследований в цилиндрах эталонной высоты при продолжительности t:

$$T/H = t/h \text{ при } Э = \text{const},$$

где H — высота воды в отстойнике, м;

h — высота воды в цилиндре, м.

Для агломерирующих взвешенных веществ, преобладающих в сточных водах, сохраняется пропорциональность продолжительности отстаивания высоте слоя, но эта зависимость не прямолинейна. В этом случае расчетная продолжительность отстаивания сточных вод в отстойнике T глубиной H может быть определена из продолжительности отстаивания их в лабораторных условиях t при высоте h по соотношению, предложенному Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова и Московским инженерно-строительным институтом им. В. В. Куйбышева, в следующем виде:

$$T = t\,(H/h)^n, \qquad (4.58)$$

где n — показатель степени, отражающий влияние агломерации: для хорошо сформированных скоагулированных хлопьев в сточных водах n=0,5; для сточных вод газоочисток n=0,45; для городских сточных вод при концентрации взвешенных веществ до 400 мг/л n=0,25, с увеличением начальной концентрации n возрастает: например, при 600 мг/л n=0,3; для шахтных вод n=0,35; для шерстомойных сточных вод n=0,19...0,44 в зависимости от количества жира и ПАВ в сточной воде.

Однако не для всех видов сточных вод имеются достаточно полные опытные данные, характеризующие осаждаемость взвешенных частиц.

В тех случаях, когда данные отсутствуют и не могут быть получены по каким-либо причинам экспериментальным путем, отстойники рассчитывают по имеющимся данным для близких по составу сточных вод или применяют другие способы расчета (например, по нагрузке сточных вод в $м^3/м^2$ поверхности отстойника).

Исходными данными при расчете отстойников на любую степень полноты выделения из сточных вод нерастворимых примесей, независимо от их вида, является: 1) объем сточных вод и начальная концентрация в них взвешенных веществ C_1; 2) допустимая конечная концентрация C_2 взвешенных веществ в отстоенной 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

$$\Э = \frac{C_1 - C_2}{C_1} 100. \qquad (4.59)$$

Соответственно этому эффекту принимаются наименьшая скорость осаждения (гидравлическая крупность частиц) u_0, мм/с (табл. 4.17), или продолжительность отстаивания (см. рис. 4.26), по которым определяются основные размеры первичных отстойников.

Эффект отстаивания сточных вод $\Э$ 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.

Горизонтальные отстойники

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный на несколько отделений (рис. 4.27). 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 ча-

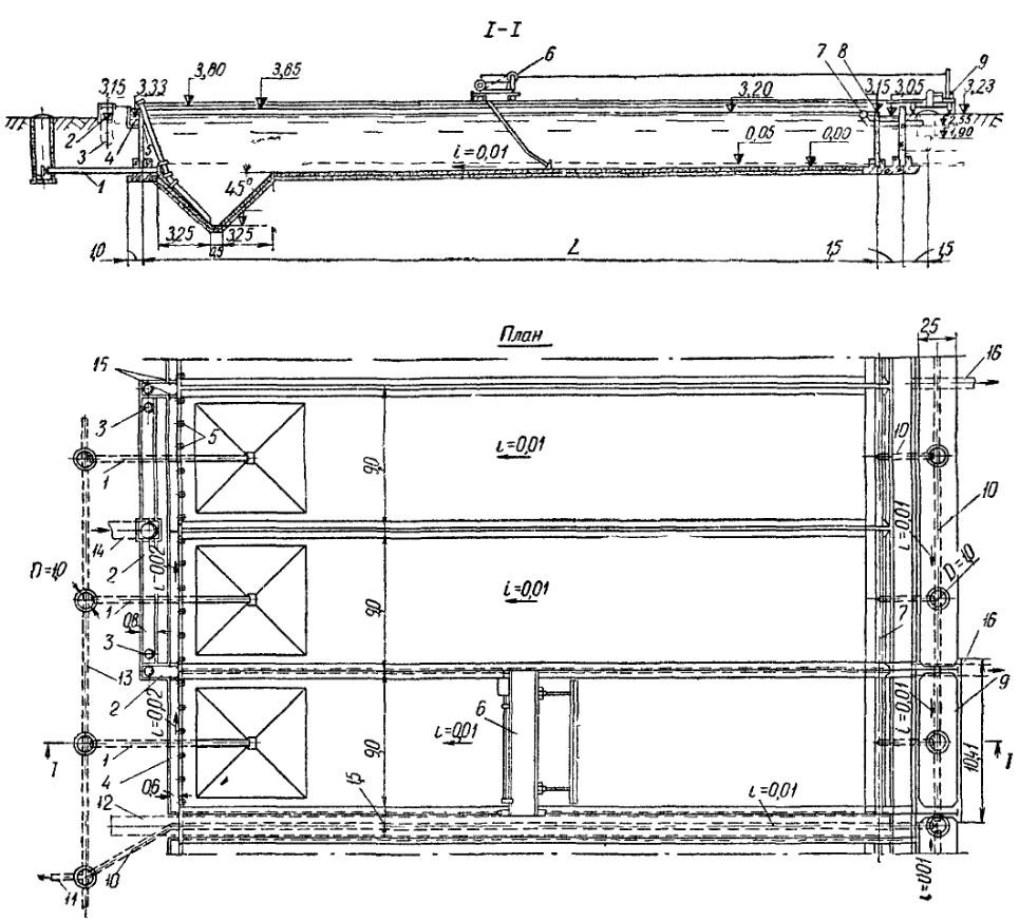


Рис. 4.27. Горизонтальный отстойник из сборного железобетона (Гипрокоммунводоканал)

1 — трубопровод для отвода сырого осадка и опорожнения; *2* и *4* — лотки площадью сечения соответственно 800×900 и 600×900 мм; *3* и *14* — дюкеры для подачи сырой сточной воды соответственно d=700 и d=1000 мм; *5* — впускные отверстия; *6* — скребковая тележка; *7* — жиросборный лоток, d=400 мм; *8* — ребро водослива; *9* — фронтальная тележка; *10* — жиропровод, d=200 мм *11* — самотечный трубопровод для отвода сырого осадка и жира для опорожнения. *12* — аварийный дюкер площадью сечения 1200×1200 мм; *13* — самотечный трубопровод для отвода сырого осадка и опорожнения, d=200 мм; *15* — шиберы 400×600 мм; *16* — дюкер для отвода осветленной воды, d=700 мм

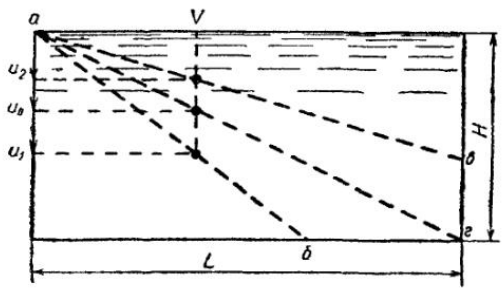


Рис. 4.28. Схема осаждения частиц в горизонтальном отстойнике

стицы u_0 под действием силы тяжести и скорости горизонтального движения воды v вдоль отстойника (рис. 4.28). 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 r. В отстойнике будут задерживаться лишь взвешенные частицы, имеющие скорость осаждения $\geqslant u_0$, которая является наименьшей для данного отстойника. Ее называют охватываемой скоростью, т. е. гидравлической крупностью тех наи-

более мелких взвешенных веществ, которые задерживаются отстойником указанной длины. Более мелкие частицы, скорость падения которых меньше u_o, будут выноситься с водой.

Эффективность выпадения взвешенных веществ из сточной воды в первичных отстойниках характеризуется данными табл. 4.17.

Таблица 4.17

Эффективность выпадения взвешенных веществ из бытовых сточных вод в первичных отстойниках

Эффективность выпадения взвешенных веществ, %	Скорость выпадения взвешенных веществ u_o, 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 $v=5...7$ мм/с, длину отстойника $L=vH/u_o$ (здесь u_o — по табл. 4.17).

В табл. 4.18 даны размеры типовых горизонтальных первичных отстойников.

Таблица 4.18

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, м³	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 приямка, м³	17	31

Примечание. 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.

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 превышает 9 м. Ширину отстойника целесообразно увязывать с шириной аэротенков (6 и 9 м), чтобы иметь возможность объединить эти сооружения в секции.

Имеющиеся 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 сгребающего устройства для нескольких отделений. К недостаткам их относится необходимость применения большего числа отстойников вследствие ограниченной ширины.

Вертикальные отстойники

Вертикальный отстойник (рис. 4.29) 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 $u_0 > v$) быстро осаждаются на дно отстойника, другие (с $u_0 = v$) находятся во взвешенном состоянии, третьи (с $u_0 < v$) 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 осаждению.

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—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) бóльшую 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

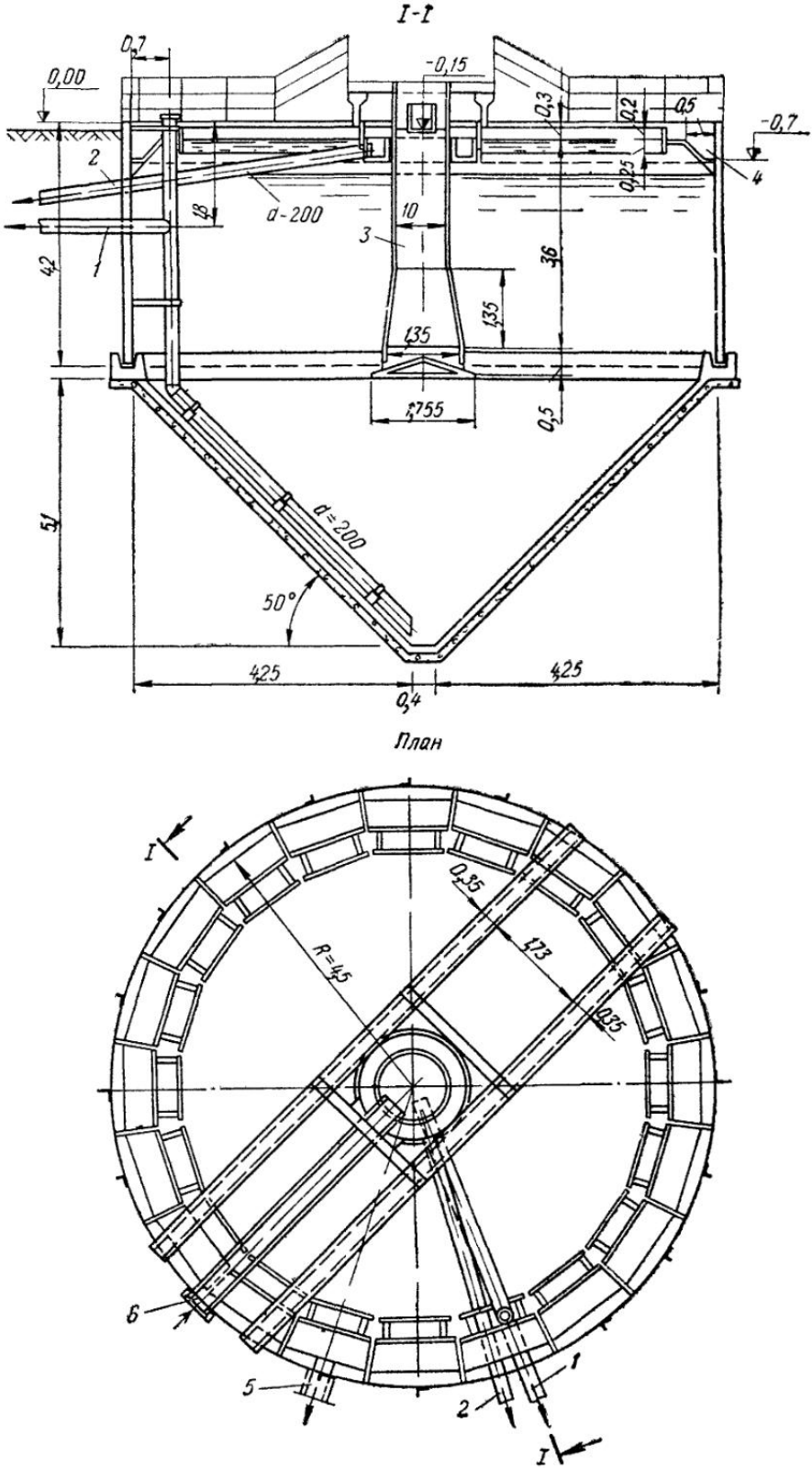


Рис 4 29 Первичный вертикальный отстойник диаметром 9 м из сборного железобетона
1 — выпуск ила, *2* — выпуск корки, *3* — центральная труба с отражателем, *4* — водосборный желоб, *5* — отводящий лоток, *6* — подводящий лоток

v принимают равной наименьшей скорости выпадения u_0 той части взвешенных веществ, на содержание которой рассчитывается отстойник; величина u_0 останавливается 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 секундному расходу сточной воды q, м³/с, и скорости в центральной трубе v_1, м/с:

$$f = q/v_1. \tag{4.60}$$

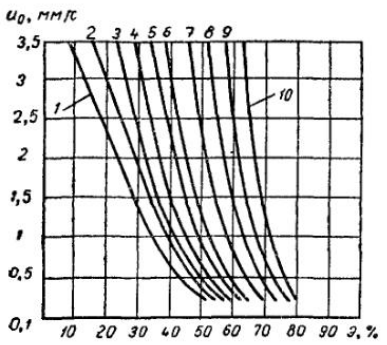


Рис. 4.30. Кривые зависимости эффекта осветления в вертикальных отстойниках от минимальной гидравлической крупности осаждаемых частиц и начальной концентрации взвешенных веществ в сточной воде

1 — C_1=150 мг/л; *2* — C_1=200 мг/л; *3* — C_1=250 мг/л; *4* — C_1=300 мг/л; *5* — C_1=350 мг/л; *6* — C_1=400 мг/л; *7* — C_1=500 мг/л; *8* — C_1=600 мг/л; *9* — C_1=700 мг/л; *10* — C_1=800 мг/л

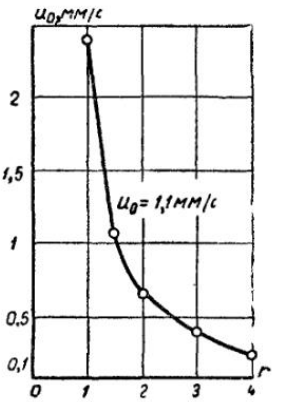


Рис. 4.31. Кривая расчета вертикальных отстойников по методу проф. С. М. Шифрина

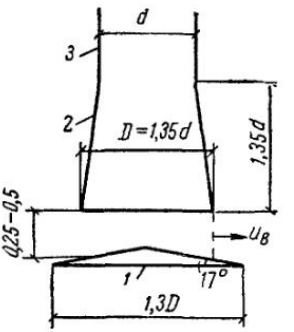


Рис. 4.32. Выпускное отверстие вертикального отстойника

1 — отражательный щит; *2* — раструб; *3* — центральная труба

Скорость v_1, обычно принимаемая равной 0,03 м/с, не должна превышать 0,1 м/с при наличии отражательного щита.

Высота проточной части отстойника или длина центральной его трубы

$$h = vt, \tag{4.61}$$

но не менее 2,7 м.

Общий объем проточной части всех отстойников (если их несколько), м³,

$$W = QKt/24, \tag{4.62}$$

где Q— средний суточный расход сточной воды, м³/сутки;

K— коэффициент неравномерности притока сточной воды.

Общая рабочая площадь отстойников, м²,

$$F_1 = W/h. \tag{4.63}$$

Полную площадь (в плане) отстойников определяют как сумму полезной их площади F_1 и площади f, занимаемой центральной трубой (или центральными трубами):

$$F = F_1 + f. \tag{4.64}$$

Расчет вертикальных отстойников, согласно методу, предложенному проф. С. М. Шифриным, производится следующим образом. По требуемому эффекту осветления сточной воды с различными начальными кон-

центрациями в ней взвешенных частиц находят с помощью рис. 4.30 гидравлическую крупность частиц, которые должны быть выделены в проектируемом отстойнике. Затем по найденной величине u_o, пользуясь рис. 4.31, определяют радиус отстойника r. Среднюю скорость входа сточной воды в отстойную зону $u_в$ (скорость в сечении между раструбом центральной трубы и отражательным щитом) С. М. Шифрин рекомендует принимать равной 1,2 см/с.

При этом площадь живого сечения представляет собой боковую поверхность цилиндра, диаметр которого равен диаметру раструба центральной трубы, а высота равна размеру зазора, т. е. 0,25—0,5 м.

Диаметр центральной трубы d определяют по скорости нисходящего движения воды в ней, равной 0,03 м/с. Длину трубы, которая должна целиком размещаться в цилиндрической части отстойника, определяют по формуле (4.61).

Рекомендуемые проф. С. М. Шифриным соотношения размеров раструба центральной трубы и отражательного щита, а также взаимное их размещение, показаны на рис. 4.32.

Диаметр вертикального отстойника не должен превышать его рабочую глубину более чем в 3 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 (или 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 табл. 4.19.

Таблица 4.19

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

Вертикальный отстойник новой конструкции с нисходяще-восходящим потоком сточной воды представляет собой круглый резервуар с периферийным лотком для сбора осветленной воды. Отличие этого отстойника от типового заключается в том, что центральная труба замене-

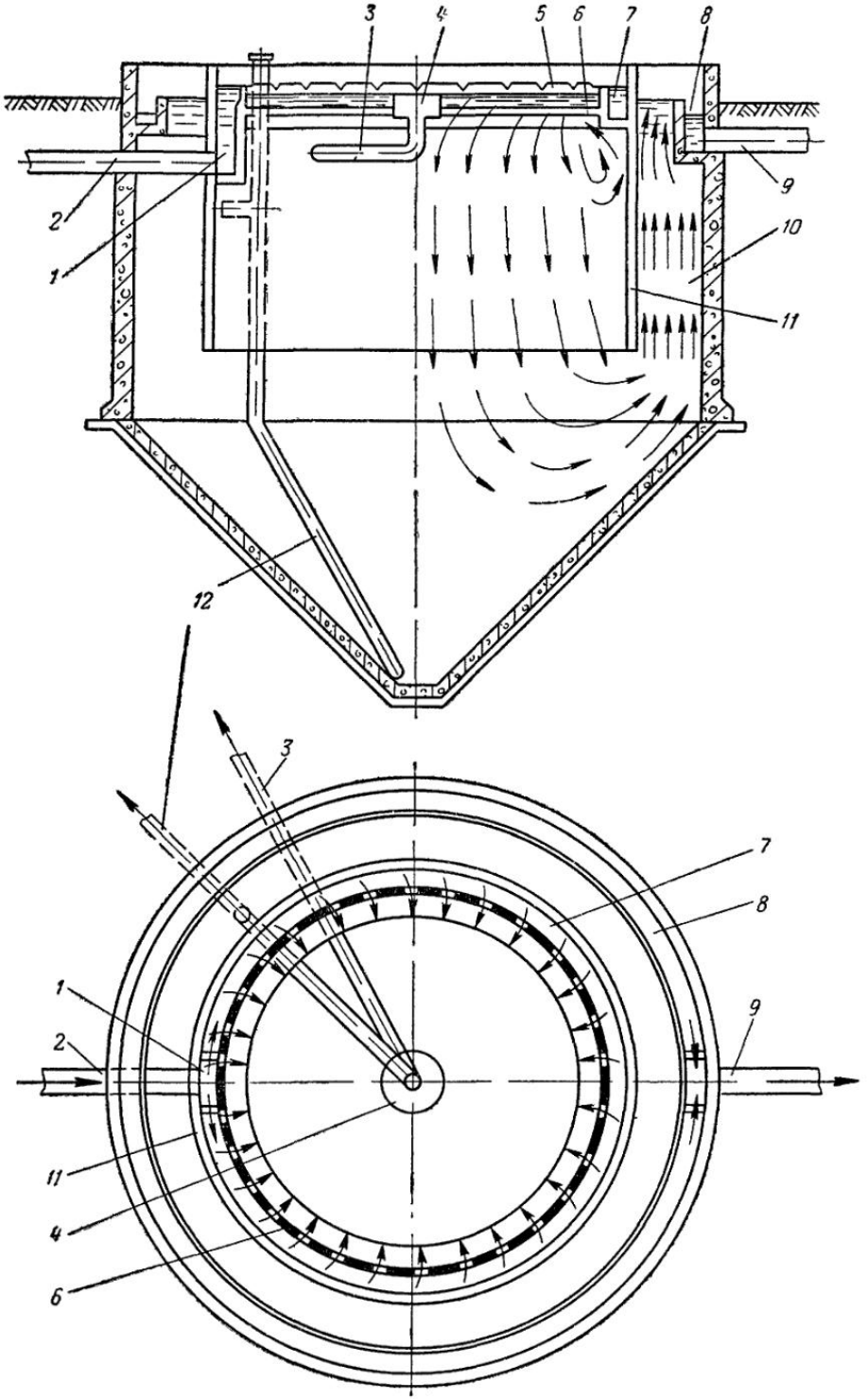


Рис 4 33 Первичный вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим потоком

1 — приемная камера *2* — подающий лоток (или трубопровод), *3* — трубопровод для удаления пла вающих веществ *4* — приемная воронка для удаления плавающих веществ, *5* — зубчатый водослив *6* — отражательный козырек *7* — распределительный лоток *8* — периферийный лоток для сбора осветленной воды, *9* — отводящий трубопровод, *10* — отстойник, *11* — кольцевая полупогружная пере городка *12* — трубопровод для отвода ила

на не доходящей до дна полупогружной перегородкой, разделяющей площадь отстойника на две равные части, а впускное устройство выполнено на внутренней поверхности перегородки по всему периметру в виде переливного зубчатого распределителя с затопленным отражательным козырьком (рис. 4.33).

Сточная вода поступает по лотку (или по трубе) в приемную камеру, а затем в лоток, имеющий зубчатый водослив, из которого вода равномерно переливается и движется по периметру внутренней части отстойника. Отражательный козырек меняет направление движения воды с вертикального на горизонтальное. По мере продвижения от перегородки к центру вода опускается вниз, распределяясь равномерно по всему сечению внутренней нисходящей части отстойника. При движении сточной воды вниз с малыми скоростями поток теряет свою транспортирующую способность, благодаря чему происходит осаждение взвешенных частиц. Интенсивное разделение жидкой и твердой фаз происходит на повороте потока. Далее вода движется восходящим потоком, переливается через борт сборного лотка и отводится через отводную трубу. Всплывающие вещества скапливаются у воронки и периодически удаляются через трубу. Осадок удаляется под гидростатическим давлением по иловой трубе.

Вертикальный отстойник этого типа увеличивает эффект задержания взвешенных веществ до 60—70% или при сохранении эффекта осветления обычного вертикального отстойника увеличивает пропускную способность примерно в 1,5 раза.

В Институте городского хозяйства МКХ УССР разработаны конструкции вертикальных отстойников с нисходяще-восходящим потоком для нескольких типоразмеров.

Радиальные отстойники

Радиальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар (рис. 4.34). 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. 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—3 $ч^{-1}$; 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.

В СССР радиальные отстойники строят диаметром 18—54 м (табл. 4.20), а на зарубежных очистных станциях — диаметром 6—60 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.

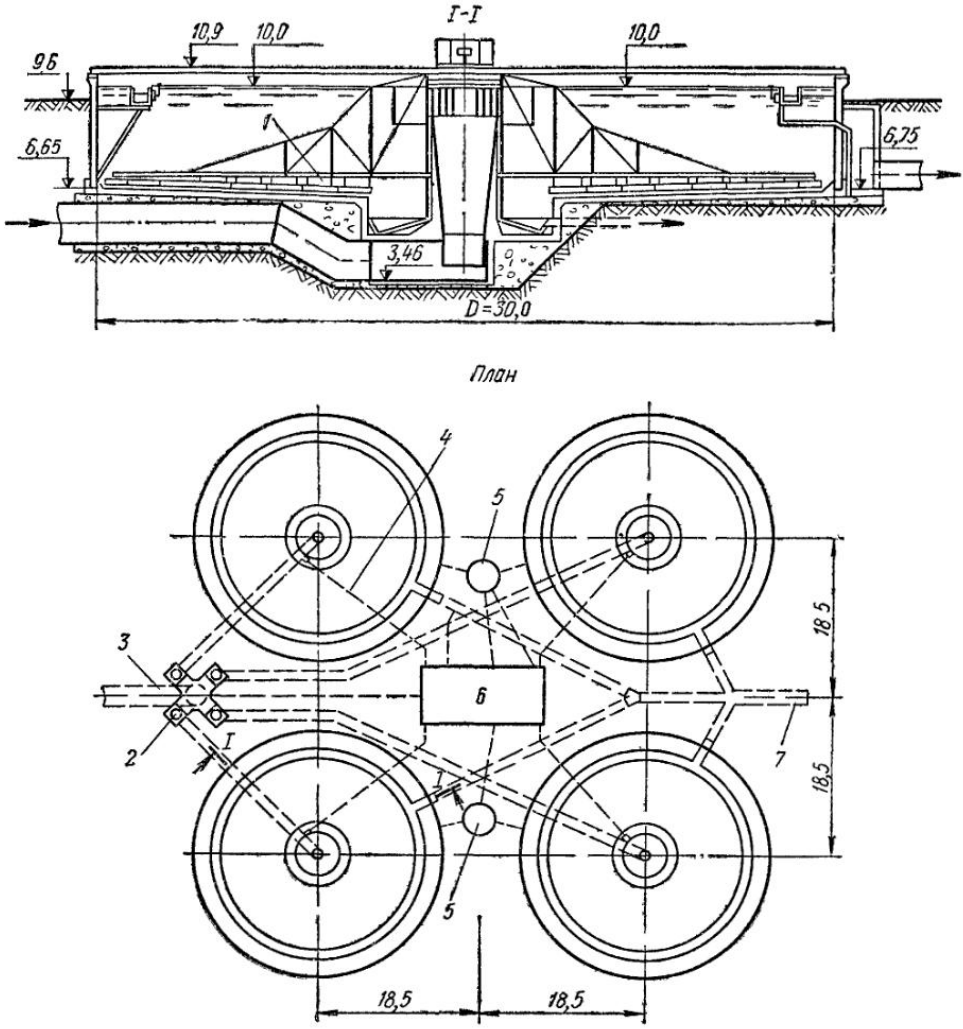


Рис 4 34 Первичный радиальный отстойник

1 — илоскреб *2* — распределительная чаша *3* — подводящий трубопровод *4* — трубопровод сырого осадка, *5* — жиросборник, *6* — насосная станция, *7* — отводящий трубопровод

Таблица 4 20

Унифицированные размеры первичных радиальных отстойников из сборного железобетона

Диаметр отстойника, м	Глубина зоны отстаивания, м	Расчетный объем отстойной зоны, м³	Расчетная пропускная способность при T=1,5 ч, м³/ч
18	3,1	788	550
24	3,1	1 400	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

Расчет первичных радиальных отстойников производится на максимальный часовои приток по продолжительности отстаивания, принимаемой для бытовых сточных вод равной 1,5 ч.

Вместимость приямка для сбора осадка в отстойнике определяют по объему осадка, образовавшегося в течение 4 ч. Стенки приямка 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 ч 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.

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 компонуют 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 преаэратор, 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 (рис. 4.35). Основные параметры таких первичных радиальных отстойников представлены в табл. 4.21.

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 обусловливает 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 обусловливают более высокий эффект задержания

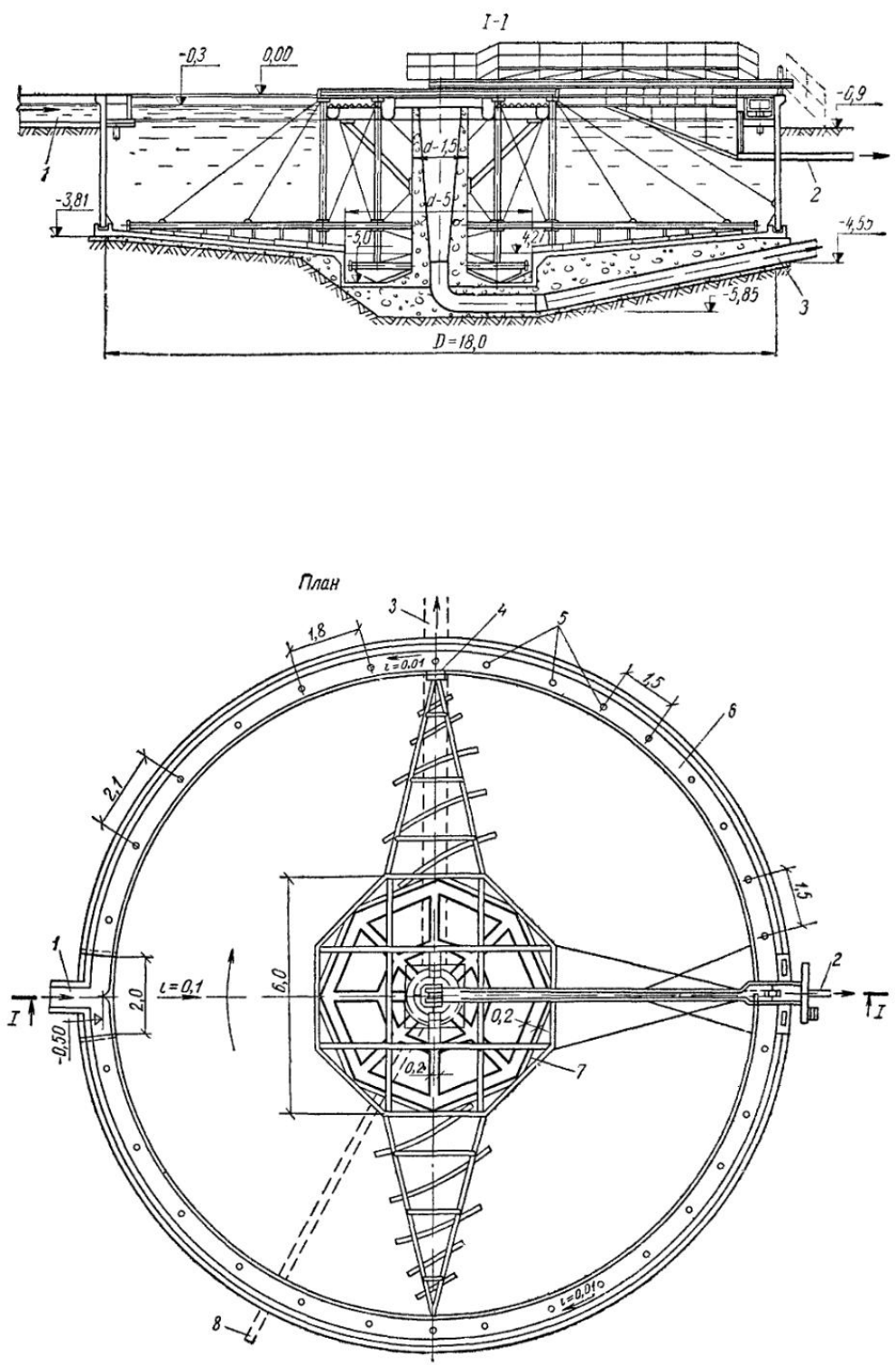


Рис. 4 35 Отстойник радиальный диаметром 18 м с периферийным впуском

1 — подводящий канал; *2* — трубопровод для отвода плавающих веществ; *3* — отводящий трубопровод; *4* — затвор с подвижным водосливом для выпуска плавающих веществ из лотка; *5* — струенаправляющие трубки; *6* — распределительный лоток; *7* — полупогружная доска для задержания плавающих веществ; *8* — трубопровод для осадка

Основные параметры первичных радиальных отстойников с периферийным впуском сточной воды

Показатель	Отстойник диаметром, м		
	18	24	30
Гидравлическая глубина, м	3,4	3,4	3,4
Глубина зоны отстаивания, м	3,1	3,1	3,1
Отношение диаметра к глубине зоны отстаивания . . .	3,8	7,7	9,7
Рабочий объем, м³	790	1400	2190
Подводящая система — распределительный лоток:			
глубина в начале, м . .	0,6	0,8	0,9
то же, в конце, м . . .	0,3	0,45	0,45
ширина, м	0,5	0,6	0,8
глубина потока в начале, м	0,47	0,6	0,7
то же, в конце, м . . .	0,2	0,2	0,2
скорость потока, м/с . .	0,43	0,5	0,55
диаметр водовпускных труб, мм	100	100	125
расстояние между трубами, м	1,5—2,1	1,5—2,3	1,5—2,5
Отводящая система — сборные лотки с зубчатым водосливом:			
периметр, м	74,6	107,6	124
нагрузка на водослив, л/(м·с)	2,2	2,4	3,3
диаметр отводящего трубопровода, мм	500	700	900
диаметр илового приямка, м	5	6	7
диаметр трубопровода сырого осадка, мм	200	200	250

взвешенных веществ, чем в обычных радиальных отстойниках с подачей сточной воды из центра. Продолжительность отстаивания в отстойниках с периферийным впуском воды принимается меньше, чем в обычных отстойниках, при одинаковом эффекте осветления сточных вод.

На рис. 4.36 показан радиальный отстойник зарубежной конструкции (США) с периферийной подачей сточной воды, отличающийся механическим оборудованием для удаления осадка и выпуском осветленной воды.

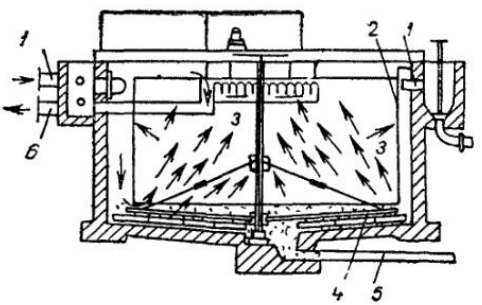


Рис. 4.36. Радиальный отстойник с периферийной подачей сточной воды, применяемый в США (фирма «Линк-Бельт»)

1 — подача сточной воды; *2* — распределительная перегородка, *3* — направление движения воды к сборным лоткам; *4* — илоскребы; *5* — отвод осадка; *6* — выпуск осветленной воды

Радиальный отстойник с вращающимися водораспределительным и водосборным устройствами, предложенный И. В. Скирдовым и разработанный Союзводоканалпроектом, представлен на рис. 4.37. 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.

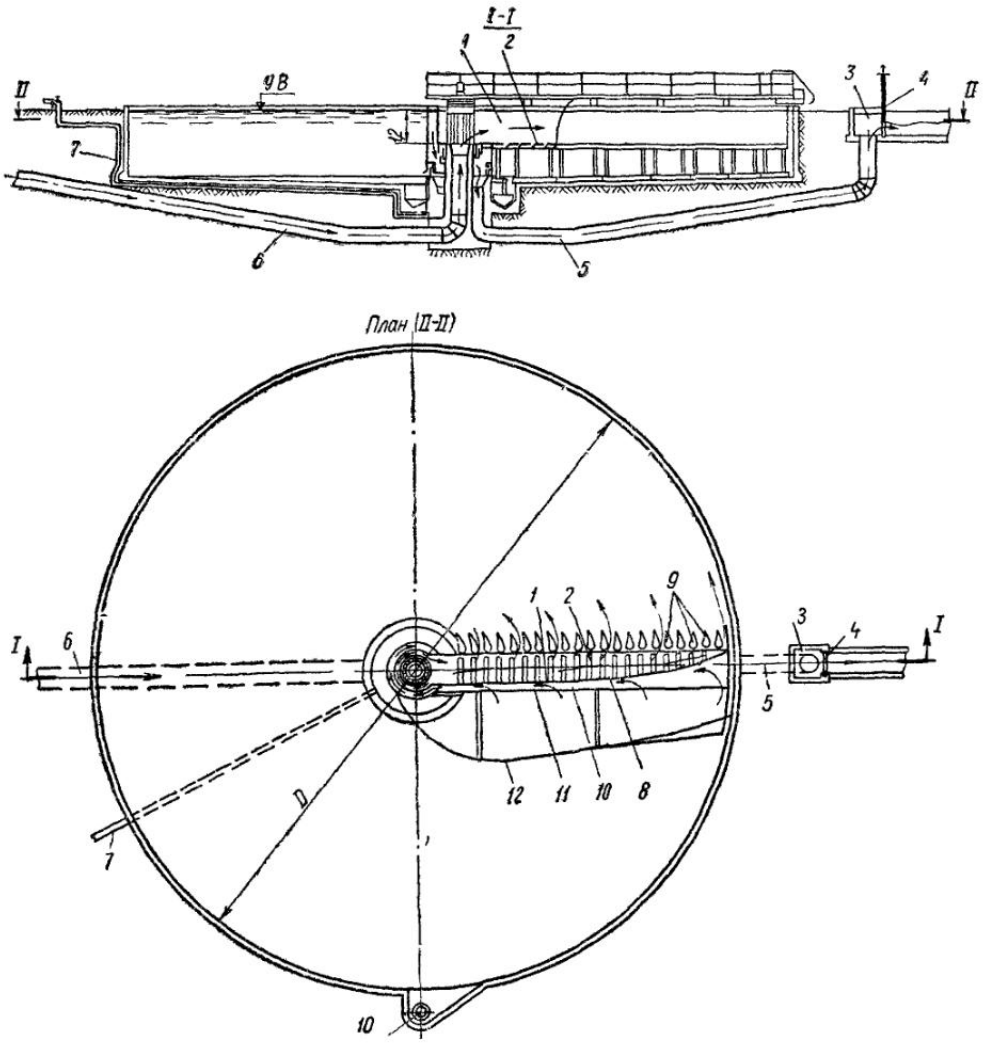


Рис 4 37 Отстойник с вращающимися водораспределительным и водосборным устройствами

1 — свободчо вращающийся желоб, *2* — щелевое днище, *3* — отводной наружный желоб, *4* — шибер; *5* — водоотводящая труба, *6* — трубопровод подачи сточной воды, *7* — отвод осадка, *8* — продольная перегородка во вращающемся желобе, *9* — струенаправляющие лопатки, *10* — водосборный лоток, *11* — затопленный водослив, *12* — направляющий козырек

Подача воды в отстойник и отвод осветленной воды производятся с помощью свободно вращающегося желоба, разделенного продольной перегородкой на две части. С внутренней стороны лоток ограничен перегородкой, снизу — щелевым днищем и снаружи — распределительной решеткой с вертикальными щелями, снабженной струенаправляющими лопатками.

Щелевое днище выполнено в виде жалюзийной решетки, через поперечные щели которой проваливаются тяжелые частицы.

Струенаправляющие лопатки имеют обтекаемую форму и поворачиваются на любой угол; размещаются они таким образом, чтобы продолжительность пребывания отдельных струй в отстойнике практически была одинаковой.

Водосборный лоток с затопленным водосливом имеет водонепроницаемые стенки и днище. Из лотка вода отсасывается сифоном в отводной наружный желоб. Сифон снабжен регулятором расхода (дроссельным клапаном, связанным системой рычагов с поплавком). У днища водосборного лотка расположен направляющий козырек.

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 $h_н$ — 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

$$Q = K\pi R^2 h_0, \tag{4.65}$$

где K — опытный коэффициент использования зоны отстаивания, равный 0,85;

R — радиус отстойника.

Величиной Q характеризуется пропускная способность отстойника.

Гидравлический расчет водораспределительного и водосборного устройства сводится к определению формы (в плане) перегородки между приемной и распределительной частями лотка, необходимой глубины погружения кромки водосборного водослива, а также высоты перепада между уровнями воды в отстойнике и периферийном отводном желобе, обеспечивающей бесперебойную работу сифона. Форма перегородки в плане не зависит от расчетного расхода сточных вод.

При распределении воды с помощью решетки из равномерно расставленных лопаток криволинейного очертания ширина водораспределительного лотка b_l, м, определяется в зависимости от расстояния l, м, от центра отстойника по уравнению

$$b_l = n\sqrt{R^2 - l^2}, \tag{4.66}$$

где n — отношение ширины водораспределительного лотка в его начале к радиусу отстойника R; величину n рекомендуется принимать равной 0,1—0,12.

Для сбора осветленной воды наиболее целесообразно применение затопленных водосливов. При коэффициенте затопления $\delta=0{,}8$ и коэффициенте расхода $m=0{,}45$ глубина погружения определяется по уравнению

$$h_0 = 1{,}24\,(Q/R^2)^{2/3}\, l^{2/3}, \tag{4.67}$$

где Q — пропускная способность отстойника, м³/ч;

R — радиус отстойника, м;

l — длина (ширина) водослива, м.

Перепад между уровнем воды в отстойнике и водоотводящем периферийном желобе

$$H \geqslant 2h_s, \tag{4.68}$$

где h_s — потери напора в сифоне, определяемые по общим формулам гидравлики.

Величина реактивной силы зависит от массы подаваемой в отстойник сточной жидкости и скорости ее вытекания. При практически допускаемых нагрузках на отстойники она обеспечивает бесперебойное движение лотка без применения каких-либо других (кроме реактивных) сил; во многих случаях реактивная сила оказывается достаточной для вращения не только собственно лотка, но и скребковой фермы.

Осветлители

Осветлитель с естественной аэрацией представляет собой вертикальный отстойник с внутренней камерой флокуляции (рис. 4.38). Сточ-

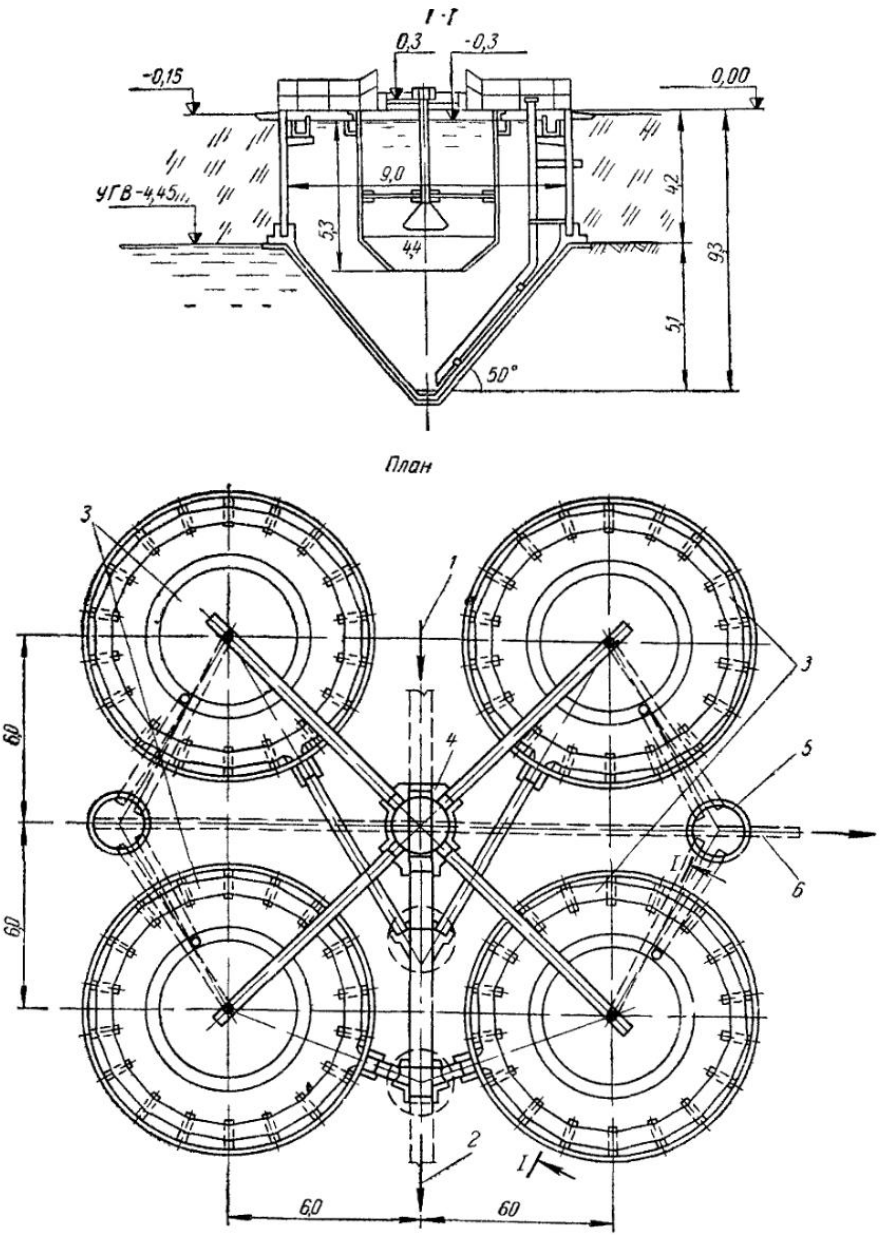


Рис 4 38 Осветлители с естественной аэрацией

1 — подача сточной воды на осветление *2* — отвод осветленной воды *3* — осветлители, *4*—распределительная камера, *5* — иловый колодец, *6* — илопровод

ная 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%. Характеристика работы осветлителей приведена в табл. 4.22. 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.

Таблица 4.22

Характеристика работы осветлителей с естественной аэрацией

Показатели	Среднегодовые данные	
	исходная сточная вода	осветленная сточная вода
Взвешенные вещества, г/м³	1200	300
в том числе минеральные, %	20	25
Жиры, г/м³	200	90

Тонкослойные отстойники

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 $Re \leqslant 500$, 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 у нас в стране, так и за рубежом предложено большое число тонкослойных отстойников различных конструкций. Принципиальные схемы тонкослойных отстойников показаны на рис. 4.39. Основные схемы взаимного движения воды и выделенного осадка следующие: перекрестная схема — когда выделенный осадок движется перпендикулярно движению рабочего потока жидкости; противоточная схема — выделенный осадок удаляется в направлении, противоположном движению рабочего потока (рис. 4.40);

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.

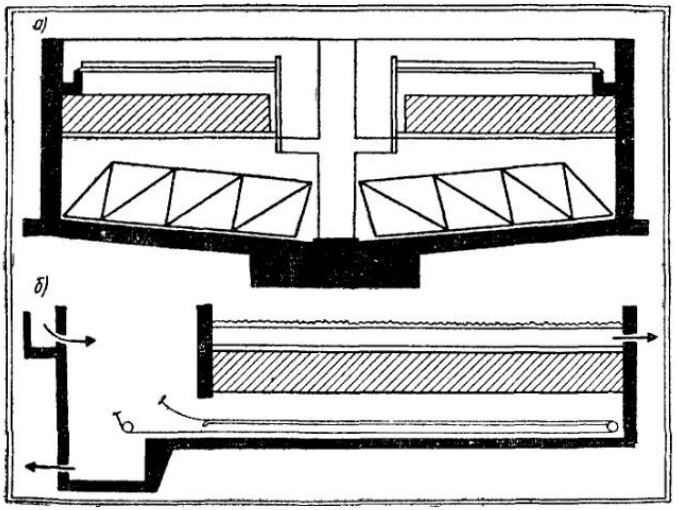


Рис 4 39 Трубчатые секции, встроенные в радиальный (*а*) и в горизонтальный (*б*) тонкослойные отстойники

Эти отстойники следует применять для очистки сточных вод, содержащих в основном оседающие примеси. Благодаря движению воды в наклонных секциях снизу вверх создаются благоприятные условия для осаждения взвешенных веществ по более короткой траектории.

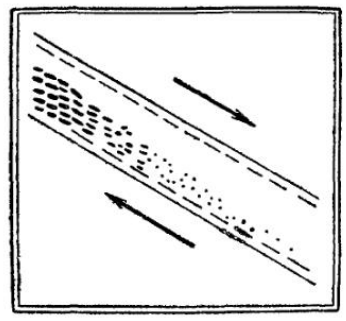


Рис. 4 40 Противоточная схема движения воды (вверх) и осадка (вниз) в тонкослойном отстойнике

Осадок непрерывно сползает против движения воды и в виде крупных агломератов осаждается в иловый приямок, из которого периодически удаляется через иловую трубу. Всплывшие вещества собираются в пазухе между секциями и удаляются погружающимся лотком. Плавающие вещества для сокращения объема воды, удаляемой с ними, подгоняются к лотку воздушными струями. Воздух подают перфорированные трубы, расположенные по периферии отстойника.

Расчет тонкослойного отстойника производится в следующем порядке:

1. Площадь поперечного сечения полочного пространства вычисляется по формуле

$$\omega = Q/v, \tag{4.69}$$

где Q — расход сточной воды, м^3/ч;

v — скорость потока сточной воды в секциях тонкослойного отстойника, м/ч.

Скорость v, м/ч, определяют из условия обеспечения ламинарного режима течения воды в секциях по уравнению

$$v = 3600\,\mathrm{Re}\,\chi\nu/\omega_1, \tag{4.70}$$

где Re — число Рейнольдса; должно быть менее 500;

χ — смоченный периметр секции, м;

ω_1 — площадь поперечного сечения секции, м^2;

ν — кинематическая вязкость, м^2/с.

Практически скорость движения воды в секциях принимают равной 10 u_o, т. е. примерно 5—10 мм/с.

2. Высоту полочного пространства H рекомендуется принимать 1—2 м. При этом его ширина составит:

$$B = \omega / H. \tag{4.71}$$

Угол наклона полок равняется 45—60° в зависимости от угла сползания осадка в воде.

3. Необходимую продолжительность отстаивания, ч, определяют из уравнения

$$t_p = \frac{h_c}{3600 u_o}, \tag{4.72}$$

где u_o — гидравлическая крупность частиц, мм/с, осаждение которых обеспечивает требуемый эффект осветления сточной воды.

Величину u_o определяют по кинетике осветления сточной воды в покое при высоте слоя отстаивания, равной высоте секции h_c в тонкослойном отстойнике. Минимальная высота h_c должна приниматься с учетом способа удаления выпавшего осадка и необходимости обеспечения незасоряемости секции, $h_c = 50...150$ мм.

4. Длину полочного пространства определяют из выражения

$$L = K t_p v,$$

где K — коэффициент запаса, равный 1,1—1,5.

Общая строительная длина тонкослойного отстойника складывается из длины, необходимой для установки водораспределительных и водосборных устройств, и длины полочного пространства.

5. Объем иловой части отстойника определяют по уравнению

$$W = \frac{(C_0 - C_t) Q \cdot 100}{(100 - p) \rho_{oc}}, \tag{4.73}$$

где W — объем осадка;

C_0 — начальная концентрация взвешенных веществ в сточной воде;

C_t — концентрация взвешенных веществ в осветленной воде;

Q — расчетный расход сточных вод;

p — влажность осадка, %;

ρ_{oc} — плотность осадка.

Обобщенный метод расчета первичных отстойников

Для расчета отстойников сначала определяют их размеры, а затем уточняют значения расчетных величин. Одной из основных величин является средняя расчетная скорость в проточной части отстойника, принимаемая в первом приближении для радиальных (в сечении на половине радиуса) и горизонтальных отстойников $v = 5...7$ мм/с, для отстойников с вращающимся распределительным устройством и вертикальных $v = 0$.

Длину горизонтальных отстойников определяют по формуле

$$L = \frac{vH}{K u_o}; \tag{4.74}$$

радиус отстойников вертикальных, радиальных, с вращающимся распределительным устройством и с периферийным впуском — по формуле

$$R = \sqrt{\frac{Q}{3{,}6\pi K u_o}}, \tag{4.75}$$

где v — средняя расчетная скорость в проточной части отстойника, мм/с;

H — глубина проточной части отстойника (от границы нейтрального слоя до уровня воды), м;

K — коэффициент, зависящий от типа отстойника и конструкции водораспределительных и водосборных устройств; принимается равным для горизонтальных отстойников 0,5, радиальных — 0,45, вертикальных — 0,35, для отстойников с вращающимся распределительным устройством — 0,85;

u_0 — скорость осаждения взвешенных частиц в отстойнике (гидравлическая крупность), мм/с;

Q — расчетный расход сточных вод, м³/ч.

Гидравлическая крупность определяется по формуле

$$u_0 = \frac{1000KH}{\alpha t\,(KH/h)^n} - w, \qquad (4.76)$$

где α — коэффициент, учитывающий влияние температуры воды на ее вязкость; принимается по табл. 4.23;

t — продолжительность отстаивания в цилиндре со слоем воды h, соответствующая заданному эффекту осветления, с; определяется экспериментально или принимается приближенно для основных видов взвешенных веществ по табл. 4.24;

n — эмпирический коэффициент, зависящий от свойств взвеси, определяется экспериментально;

w — вертикальная составляющая скорости движения воды в отстойнике, принимается по табл. 4.25.

Таблица 4.23

Значения коэффициента α

Минимальная среднемесячная температура сточных вод, °С	60	50	40	30	25	20	15	10	5	0
α	0,45	0,55	0,66	0,80	0,9	1,0	1,14	1,3	1,5	1,8

Таблица 4.24

Продолжительность отстаивания сточных вод в покое в зависимости от эффекта осветления

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания взвешенных веществ, с, в цилиндре глубиной 500 мм										
	для коагулирующих (n=0,25)				для мелкодисперсных минеральных взвесей с плотностью 2—3 г/см³ (n=0,4)				для структурных тяжелых плотностью 5—6 г/см³ (n=0,6)		
	Концентрация, мг/л										
	100	200	300	500	500	1000	2000	3000	200	300	400
20	600	300	—	—	150	140	100	40	—	—	—
30	900	540	320	260	180	150	120	50	—	—	—
40	1320	650	450	390	200	180	150	60	75	60	45
50	1900	900	640	450	240	200	180	80	120	90	60
60	3800	1200	970	680	280	240	200	100	180	120	75
70	—	3600	2600	1830	360	280	230	130	390	180	130
80	—	—	—	5260	1920	690	570	370	3000	580	380
90	—	—	—	—	—	2230	1470	1080	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	3600	1850	—	—	—

Примечания: 1. Продолжительность отстаивания дана для температуры воды 20 °С. Для промежуточных значений концентраций взвешенных веществ и эффекта осветления продолжительность отстаивания определяется интерполяцией.

2. Кинетика осаждения взвешенных веществ из сточной воды и показатели степени n должны определяться при отстаивании в покое в сосудах диаметром не менее 120 мм.

Значение $(KH/h)^n$ в расчетах первичных отстойников для городских сточных вод может приниматься по табл. 4.26.

После определения L и R для горизонтальных и радиальных отстойников уточняется значение v:

$$v = \frac{Q}{3{,}6HB},$$

где B — ширина отстойника, м; принимается в пределах 2—5 H;

для радиальных отстойников (в сечении на половине радиуса)

$$v = \frac{Q}{3{,}6\pi RH}.$$

Таблица 4.25

Значения вертикальной составляющей скорости движения воды в отстойнике

v, мм/с	5	10	15	20
w, мм/с	0	0,05	0,1	0,5

Таблица 4.26

Значения $(KH/h)^n$

Высота отстойника H, м	$(KH/h)^n$ для отстойников			
	вертикальных	радиальных	горизонтальных	с вращающимся распределительным устройством
1	—	—	—	1,14
1,5	—	1,08	1,11	1,27
2	1,11	1,16	1,19	—
3	1,21	1,29	1,32	—
4	1,29	1,38	1,41	—
5	—	1,46	1,50	—

Если уточненное значение значительно отличается от принятого ранее (при вычислении w), величины L и R следует определять повторно с учетом полученного значения v.

Для отстойников с вращающимся распределительным устройством период вращения, ч, распределительного устройства определяется по формуле

$$T = \pi R^2 HK/Q. \qquad (4.77)$$

Объем удаляемого из первичных отстойников осадка определяется в соответствии с эффектом отстаивания сточных вод. Объем иловой камеры принимается равным объему выпавшего осадка за период не более двух суток.

В отдельных случаях при отсутствии достаточных данных, характеризующих кинетику осаждения взвешенных веществ, отстойники можно рассчитывать по нагрузке сточной воды на площадь зеркала отстойника q или по скорости движения v и продолжительности отстаивания t, принимаемым по данным эксплуатации отстойников, осветляющих воду аналогичного состава. Для бытовых сточных вод $q=2...3{,}5$ м^3/(м^2·ч), $v=5...7$ мм/с и $t=1...1{,}5$ ч.

Применение для расчета отстойников коэффициентов объемного использования и полезного действия

Гидравлический режим работы отстойников в значительной степени влияет на эффект их работы. Чем совершеннее конструкция отстойника, тем выше эффективность задержания взвешенных веществ. Совершенство конструкций связано с условиями входа воды в отстойник, т. е. со скоростью входа воды и величиной заглубления кожуха в ради-

ального или распределительной перегородки в горизонтальном отстойнике. Гидравлический режим работы оценивается по коэффициентам объемного использования и полезного действия отстойников.

Коэффициент объемного использования отстойника определяется измерением скоростей течения воды по всей глубине отстойной зоны (в нескольких сечениях) и установлением активной зоны, а коэффициент полезного действия — как отношение эффекта осветления в натурном отстойнике к эффекту осветления на модели (в покое) при равной продолжительности отстаивания.

Эти коэффициенты в той или иной степени учитывают в расчетах. Так, при расчете горизонтальных отстойников [формула (4.74)] вводится коэффициент $K=0{,}5$ при определении их длины, в расчетах радиального отстойника [формула (4.75)] $K=0{,}45$, а при расчете отстойника конструкции И. В. Скирдова коэффициент объемного использования принимается 0,85. Однако эти значения коэффициентов не описаны в виде математической зависимости. С этой целью кафедрой канализации МИСИ им. В. В. Куйбышева были проведены исследования на моделях и в натурном отстойнике. После математической обработки результатов опытов были получены следующие зависимости:

$$K'_{\text{о.и}} = \frac{0{,}76 - 0{,}05\,h^2 + 0{,}11\,h}{1 + 0{,}00275 v_{\text{вх}}}; \tag{4.78}$$

$$K''_{\text{о.и}} = 1 - 0{,}000825\,(L/H)^3 + 0{,}02335\,(L/H)^2 - 0{,}1755\,(L/H), \tag{4.79}$$

где $K'_{\text{о.и}}$ — коэффициент объемного использования, зависящий от глубины погружения распределительного устройства $h=0{,}25H$ и скорости входа воды $v_{\text{вх}}$ (под распределительным устройством $v_{\text{вх}}$ принимается в пределах 20—25 мм/с);

$K''_{\text{о.и}}$ — коэффициент объемного использования, зависящий от геометрического отношения длины отстойной зоны L или R к глубине H.

Значение $K'_{\text{о.и}}$ в уравнении (4.78) справедливо только при $L/H=10$. В ином случае коэффициент объемного использования определяется по формуле

$$K_{\text{о.и}} = K'_{\text{о.и}}\, K^n_{\text{о.и}} / K^{\text{о}}_{\text{о.и}}, \tag{4.80}$$

где $K^{\text{о}}_{\text{о.и}}$ — коэффициент объемного использования отстойника, определяемый по формуле (4.79) при $L/H=10$;

$K^n_{\text{о.и}}$ — то же, но при любом значении L/H, отличном от 10.

Значения коэффициентов полезного действия η находят в зависимости от продолжительности отстаивания t, ч, которое определяется при технологическом анализе (рис. 4.41), $K_{\text{о.и}}$ и фактической вязкости сточной воды μ по формулам:

для бытовых сточных вод

$$\eta = e^{-0{,}3\,\frac{\mu_{\text{н}}}{\mu_{\text{м}} K_{\text{о.и}} t}}; \tag{4.81}$$

для производственных сточных вод

$$\eta = e^{-0{,}3\,\frac{\mu_{\text{н}}\,\rho_1}{\mu_{\text{м}} K_{\text{о.и}} t \rho_2}}, \tag{4.82}$$

где $\mu_{\text{н}}$, $\mu_{\text{м}}$ — динамическая вязкость сточной воды соответственно в натурном отстойнике и при технологическом анализе осветления этих же сточных вод на модели;

ρ_1, ρ_2 — плотность осадка соответственно бытовых и производственных сточных вод.

Далее определяют эффект осветления сточных вод в отстойнике

$$Э_н = Э_м \eta, \qquad (4.83)$$

где $Э_м$ — эффект осветления воды на модели (в покое); берется по рис. 4.42 при тех же значениях времени, при которых определялся коэффициент полезного действия, т. е. при $t=0...$ $...1{,}5\ t_{ос}$ (определяется в сосуде глубиной, равной глубине проектируемого отстойника).

Полученные данные наносят на график (рис. 4.43) и строят кривую зависимости эффекта осветления сточных вод $Э$ от продолжительности отстаивания t для отстойника.

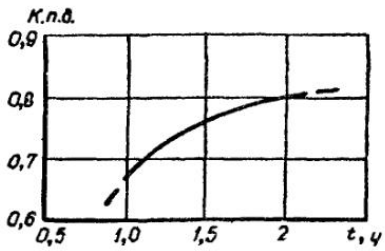


Рис. 4.41. Кривая зависимости коэффициента полезного действия отстойника от продолжительности отстаивания сточной воды

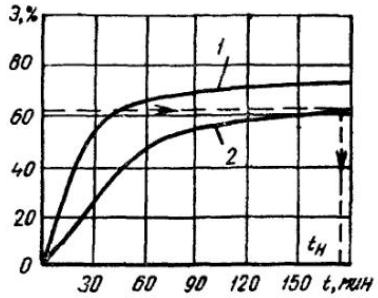


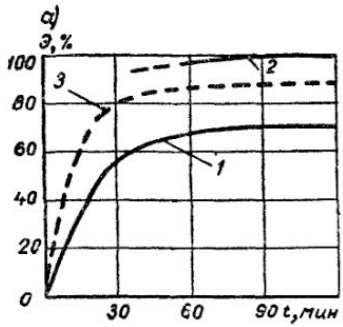
Рис. 4.42. Кривые зависимости эффекта осветления сточной воды от продолжительности отстаивания

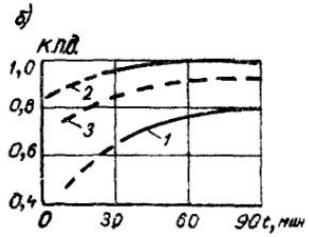
1 — находящейся в состоянии покоя (в модели); *2* — движущейся (в натуре)

По требуемому эффекту очистки сточных вод и графику $Э=f(t)$ для отстойника находится необходимая продолжительность отстаивания сточной воды в отстойнике $t_н$.

Рис. 4.43. Кривые зависимости эффекта осветления сточной воды, находящейся в состоянии покоя (*а*), и коэффициента полезного действия отстойника (*б*) от продолжительности отстаивания

1—для бытовых сточных вод; *2* — для сточных вод от газоочистки конвертерных цехов, *3* — для шерстомойных сточных вод





По принятым значениям L/H и глубине отстойной зоны H, при которых определялись значения коэффициентов объемного использования и полезного действия отстойников, находим длину отстойной зоны и объем сооружения, за исключением объема, расположенного в пределах распределительного кожуха или между передней торцовой стенкой и полупогружной доской, где практически не происходит осаждения взвешенных веществ:

для радиальных отстойников

$$W_1 = \pi H R^2; \qquad (4.84)$$

для горизонтальных отстойников

$$W_1 = BH(L - l_0), \tag{4.85}$$

где R — радиус отстойника, равный L, м;
H — глубина отстойной зоны, м; следует принимать 1,5—3 м;
B — ширина горизонтального отстойника;
l_0 — расстояние от распределительного лотка до полупогружной доски в горизонтальном отстойнике.

Определяем расход сточных вод, м³/ч, который должен быть подан на один отстойник:

$$Q_1 = W_1/t_н, \tag{4.86}$$

где $t_н$ — продолжительность отстаивания сточных вод, принятая по рис. 4.43.

В заключение определяется необходимое число рабочих отстойников:

$$N = Q_{общ}/Q_1, \tag{4.87}$$

где $Q_{общ}$ — расход сточных вод, поступающих на очистные сооружения, м³/ч.

§ 96. 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), по отечественному опыту, малоэффективна; она улучшает работу первичных отстойников на 5—8% (по задержанию 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.

Преаэраторы — биокоагуляторы — нашли применение как в СССР (Кожуховская и Люберецкая станции аэрации Москвы), так и за ру-

бежом (например, очистная станция г. Йорка, США). При устройстве преаэраторов рекомендуется предусматривать возможность предварительной регенерации активного ила. Вместимость регенераторов рекомендуется принимать равной 0,25—0,3 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.

Работа таких сооружений исследовалась сотрудниками АКХ И. С. Постниковым и С. И. Цытовичем. Ими же предложена компакт-

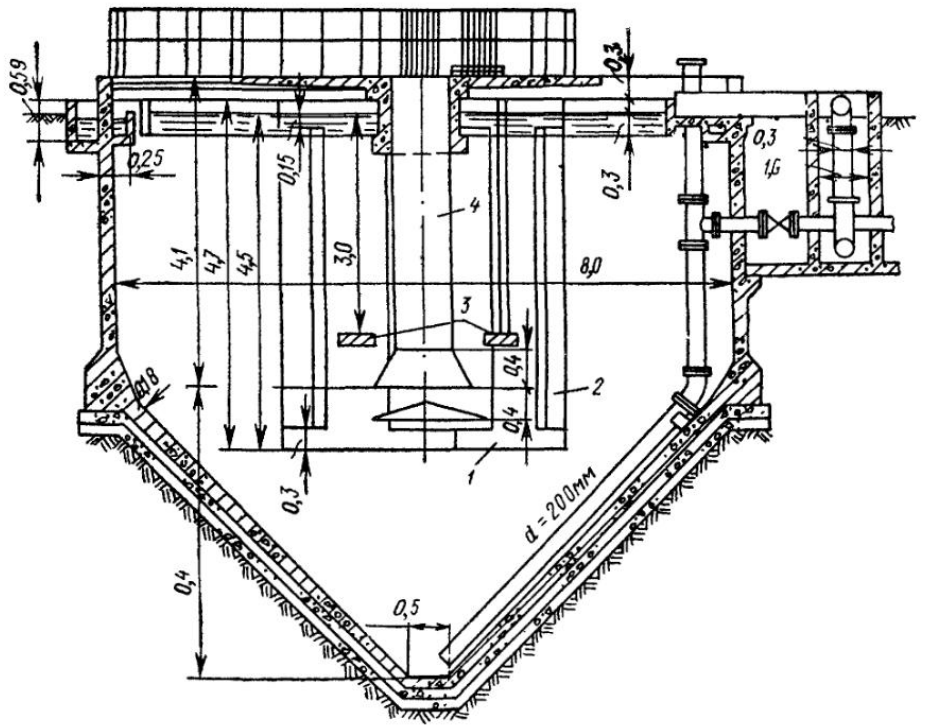


Рис 4.44. Биокоагулятор на базе вертикального отстойника

1 — центральная камера, *2* — карман, *3* — фильтросы; *4* — вертикальная труба

ная конструкция биокоагулятора на базе вертикального отстойника (рис. 4.44). Сточная вода через вертикальную трубу поступает в центральную камеру, где помещены фильтросы, через которые воздух поступает в зону аэрации. В камеру добавляют активный ил из аэротенков. Ил, перемешиваясь со сточной водой, увлекается воздухом в верхнюю часть камеры и через устроенные в ней карманы опускается вниз, поступая в зону отстаивания первичного отстойника. Вода, пройдя взвешенный слой в зоне отстаивания, осветляется и через желоба удаляется из отстойников. Центральная камера биокоагуляторов рассчитывается на 20-минутное пребывание в ней сточной воды.

По данным АКХ, эффект снижения загрязнений по взвешенным веществам при биокоагуляции повышается примерно на 30% по сравнению с простым отстаиванием, а по $БПК_{20}$ — на 35%. Оптимальная доза подаваемого активного ила колеблется от 100 до 400 мг/л. Исследования, проводимые в последнее время кафедрой канализации МИСИ им. В. В. Куйбышева, показали, что необходимый объем активного ила, подаваемого в преаэратор, зависит от назначаемой продолжительности преаэрации и ее интенсивности. Установлена также зависимость эффек-

та осветления сточных вод после преаэрации от качества добавляемого активного ила. Работы в этом направлении продолжаются.

Эффективность задерживания взвешенных веществ в первичных отстойниках с преаэраторами повышается до 65—70%. $БПК_{20}$ 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.

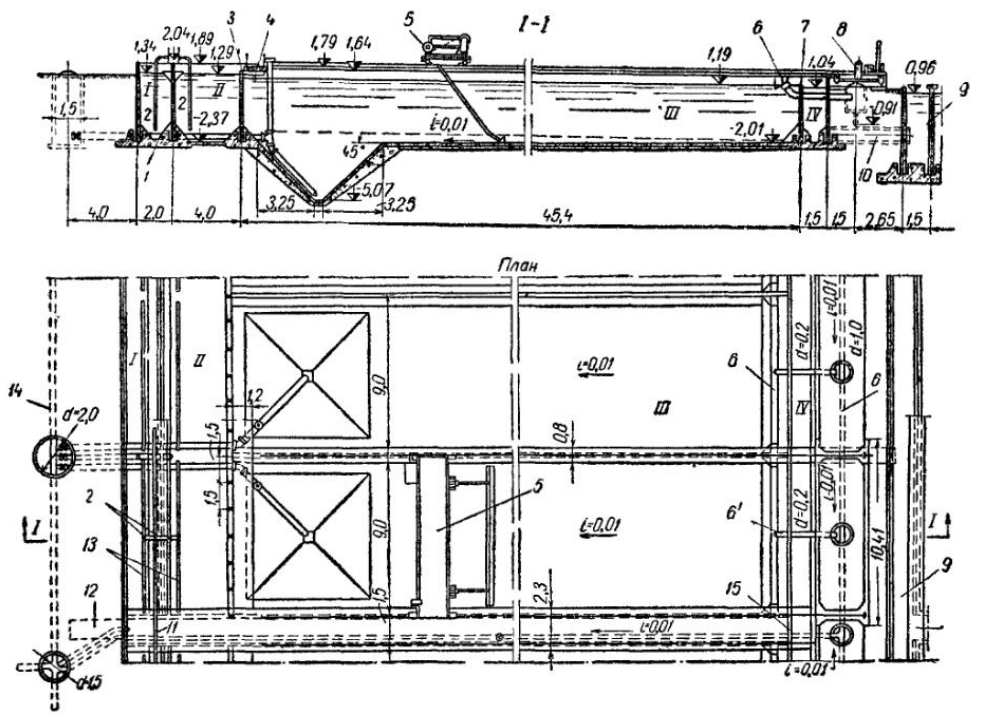


Рис. 4.45. Преаэратор, совмещенный с горизонтальным отстойником

I — регенератор; *II* — преаэратор; *III* — отстойник; *IV* — сборный канал; *1* — труба, d=200 мм для выпуска сырого осадка и опорожнения отстойнка, *2* — стояки воздуховода, d=50 мм; *3* — водослив; *4* — погружная доска; *5* — скребковая тележка; *6* и *6'* — жиросборный лоток и труба для отведения жира, d=200 мм; *7* — водослив на выпуске; *8* — фронтальная тележка; *9* — верхний канал осветленной воды, поступающей в аэротенки; *10* — дюкер для выпуска освегленной воды; *11* — воздуховод, d=200 мм, *12* — аварийный дюкер; *13* — дырчатые трубы для распределения воздуха; *14* — самотечный трубопровод, d=200 мм сырого осадка и опорожнения отстойнка; *15* — щитовой затвор

При блокировании преаэраторов с отстойниками (рис. 4.45) упрощается компоновка очистных сооружений и создаются наилучшие условия для осветления сточных вод.

Однако, как показали исследования, проведенные сотрудниками треста Мосочиствод на Люберецкой станции аэрации, осуществление преаэрации с добавлением активного ила в отдельно стоящих преаэраторах также может способствовать интенсификации осветления сточных вод при последующем отстаивании.

Предварительная регенерация ила (см. гл. XX) повышает эффективность его использования.

Исследованиями С. В. Яковлева, П. И. Галанина и А. Н. Дубовой установлено, что биокоагулятор может успешно работать не только на активном иле из аэротенков, но и на биопленке после биофильтров.

В таком биокоагуляторе с регенератором задерживается 60—70% взвешенных веществ (в обычных отстойниках 30—50%), а $БПК_5$ снижается на 50—55% (в обычных отстойниках на 10—20%).

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 (см. рис 4.38).

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.

Глава XVIII

ОБРАБОТКА, ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ

§ 97. 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 московских очистных станций, 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 микробиальных клеток, заключенных в слизь, обладают очень развитой удельной площадью поверхности, составляющей около 100 м^2 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.

Исследования, проведенные АКХ, 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 B_{12}.

Химический состав осадков, по данным Курьяновской станции аэрации, приведен в табл. 4.27.

Таблица 427

Химический состав осадков сточных вод

Вид осадка	Белки	Жиры	Углеводы	Азот общий	Фосфор (P_2O_5)	Содержание бактерий 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	$4 \cdot 10^6$—$3 \cdot 10^7$

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 обусловливает 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, ответствен-

ных 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 метанообразующих бактерий — неспороносных облигатных анаэробов, очень чувствительных к условиям окружающей среды. Изученные виды метанообразующих 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 метанообразующих бактерий способна использовать практически все основные продукты кислой фазы брожения.

Метан образуется в результате восстановления CO_2 или метильной группы уксусной кислоты:

$$4AH_2+CO_2 \xrightarrow{\text{ферменты}} 4A+CH_4+2H_2O,$$

где AH_2 — органическое вещество, служащее для метанообразующих бактерий донором водорода; обычно это жирные кислоты (кроме уксусной) и спирты (кроме метилового).

Многие виды метанообразующих бактерий окисляют молекулярный водород, образующийся в кислой фазе. Тогда реакция метанообразования имеет вид:

$$4H_2+CO_2 \xrightarrow{\text{ферменты}} CH_4+2H_2O+\text{энергия}.$$

Микроорганизмы, использующие уксусную кислоту и метиловый спирт, осуществляют реакции:

$$CH_3COOH \xrightarrow{\text{ферменты}} CH_4+CO_2+\text{энергия};$$

$$2CH_3OH \xrightarrow{\text{ферменты}} CH_4+CO_2+2H_2+\text{энергия}.$$

Все перечисленные реакции являются источниками энергии для метанообразующих 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 метанообразующих бактерий.

Считается, что скорости превращения веществ в кислой и метановой фазах одинаковы, поэтому при устойчивом процессе брожения не происходит накопления кислот — продуктов первой фазы.

Процесс сбраживания характеризуется составом и объемом выделяющегося газа, качеством иловой воды, химическим составом сброженного осадка.

Образующийся газ состоит в основном из метана и диоксида углерода. При нормальном (щелочном) брожении водород как продукт первой фазы может оставаться в газе в объеме не более 1—2%, так как используется метанообразующими бактериями в окислительно-восстановительных реакциях энергетического обмена.

Выделившийся при распаде белка сероводород H_2S практически не попадает в газ, так как в присутствии аммиака легко связывается с имеющимися ионами железа в коллоидный сульфид железа FeS.

Конечный продукт аммонификации белковых веществ — аммиак — связывается с углекислотой в карбонаты и гидрокарбонаты, которые обусловливают высокую щелочность иловой воды.

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—27° С процесс длится 25—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 осадка до температуры 30—35° С или 50—55° С.

Для нормально протекающего процесса метанового брожения характерны слабощелочная реакция среды (pH≤7,6), высокая щелочность иловой воды (65—90 мг-экв/л) и низкое содержание жирных кислот (до 5—12 мг-экв/л). Концентрация аммонийного азота в иловой воде достигает 500—800 мг/л.

Нарушение процесса может быть результатом перегрузки сооружения, изменения температурного режима, поступления с осадком токсичных веществ и т. д. Нарушение проявляется в накоплении жирных кислот, снижении щелочности иловой воды, падении pH. Резко уменьшается объем образующегося газа, увеличивается содержание в газе угольной кислоты и водорода — продуктов кислой фазы брожения.

Кислотообразующие бактерии, ответственные за первую фазу брожения, более выносливы ко всякого рода неблагоприятным условиям, в том числе и к перегрузкам. Осадки, поступающие на сбраживание, в значительной степени обсеменены ими. Быстро размножаясь, кислотообразующие бактерии увеличивают ассимиляционную способность бактериальной массы и таким образом приспосабливаются к возросшим нагрузкам. Скорость первой фазы при этом возрастает, в среде появляется большое количество жирных кислот.

Метановые бактерии размножаются очень медленно. Время генерации для некоторых видов составляет несколько дней, поэтому они не в состоянии быстро увеличивать численность культуры, а содержание их в сыром осадке незначительно. Как только нейтрализующая способность бродящей массы (запас щелочности) оказывается исчерпанной, pH резко снижается, что приводит к гибели метанообразующих бактерий.

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[1]. 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.

При смешивании бытовых сточных вод с производственными необходимо, чтобы смесь сточных вод имела pH=7...8 и температуру не ниже 6° и не выше 30° С. Содержание ядовитых или вредных веществ не должно превышать предельно допустимой концентрации для микроорганизмов, развивающихся в анаэробных условиях. Например, при содержании меди в осадке более 0,5% сухого вещества ила происходит замедление биохимических реакций второй фазы процесса сбраживания и ускорение реакций кислой фазы. При дозе гидроарсенита натрия 0,037% к массе беззольного вещества свежего осадка замедляется процесс распада органического вещества.

Для обработки и сбраживания сырого осадка применяют три вида сооружений: 1) септики (септиктенки); 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.

[1] К таким веществам относятся кислоты, соли тяжелых металлов, смолы, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) и другие соединения

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 самоокислении бактериальной массы. Аэробной стабилизации могут подвергаться как активный ил, так и сырой осадок и их смесь.

Степень распада органических веществ в процессе аэробной стабилизации сопоставима с анаэробным сбраживанием. Беззольное вещество стабилизированных осадков состоит в основном из биологически инертных органических соединений.

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 2 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 составляет 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. При этом обезвоживанию могут подвергаться как сырые осадки (с последующим обеззараживанием), так и осадки после биохимической обработки. Выбор той или иной схемы обработки осадков диктуется местными условиями и производится с учетом физико-химических свойств осадков, санитарно-эпидемиологических требований и технико-экономических расчетов.

Для механического обезвоживания осадков наибольшее применение нашли вакуум-фильтры. Однако в последнее время в зарубежной и отечественной 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.

Капитальные затраты этого метода достаточно высоки, вследствие чего применение термической сушки оправдано лишь при условии эффективного использования высушенного осадка.

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 канализацию с производственными сточными водами.

В последние годы метод сжигания находит все большее применение для ликвидации производственных шламов ряда предприятий химической, нефтеперерабатывающей, угольной отраслей промышленности и осадков городских очистных станций.

При сжигании происходит полное окисление органических веществ осадков и образование стерильного остатка — золы, которая может быть использована в качестве присадочного материала при подготовке осадка к обезвоживанию. Это позволяет снизить расход химических реагентов.

Экономику процесса сжигания определяют два основных фактора:

теплота сгорания и влажность осадка. Теплота сгорания, в свою очередь, зависит от химического состава и для осадков городских очистных станций составляет 16 800—27 400 кДж на 1 кг беззольного вещества. Наименьшей теплотой сгорания обладают сброженные осадки, наибольшей — сырой осадок из первичных отстойников.

В зависимости от теплоты сгорания обезвоженные осадки могут сжигаться самостоятельно или с добавкой топлива.

Поскольку горению предшествует процесс испарения влаги, требующий значительных затрат тепла (около 4200 кДж на 1 кг воды), необходимость в дополнительном топливе находится в прямой зависимости от влажности осадка. Опыт работы зарубежных очистных сооружений, использующих метод сжигания, показывает, что самостоятельно могут сжигаться только те осадки, в которых соотношение воды и беззольного вещества не превышает 3,5 : 1.

Сжигание осадков применяется на ряде очистных станций США, Франции, Швеции и других стран. Обезвоженные осадки сжигают в многоподовых или барабанных печах, в реакторах со взвешенным слоем.

§ 98. 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 мес., 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 наверх и увлекают за собой иловые частицы, 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.

Для улучшения условий эксплуатации и, в частности, уменьшения выноса взвешенных веществ септики больших размеров рекомендуется разделять по длине на две или три камеры поперечными перегородками с отверстиями. При расходах сточных вод до 5 м³/сутки рекомендуется применять однокамерный септик, а при расходах более 5 м³/сутки — двух- или трехкамерный. В двухкамерных септиках объем первой камеры следует принимать равным 0,75, а в трехкамерных — 0,5 расчетной

вместимости; вместимость второй и третьей камеры составляет по 0,25 расчетной вместимости.

Для упрощения конструкций септика допускаются отклонения от указанных соотношений вместимостей камер. С этой же целью септик может быть сделан не прямоугольным, а в виде отдельных камер, круглых в плане, из бетонных колец.

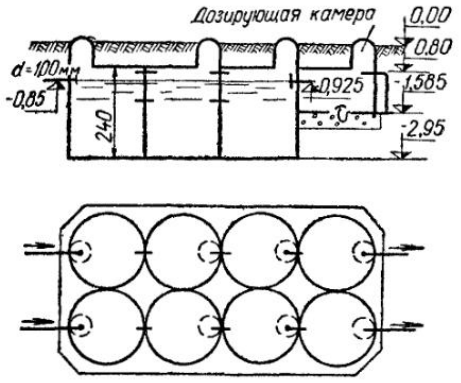


Рис. 4.46. Схема многокамерного септика

Материалом для септиков могут служить кирпич, камень, железобетон и дерево. В последнем случае для водонепроницаемости рубленый септик должен быть хорошо проконопачен, осмолен и обложен со всех сторон плотным слоем мятой глины толщиной не менее 0,4 м.

В настоящее время Государственным институтом типового проектирования и технических исследований составлены типовые проекты септиков из сборного железобетона или кирпича для применения их на небольших объектах с суточным водоотведением от 0,5 до 10 м³/сутки (табл. 4.28).

На рис. 4.46 приведена схема многокамерного септика из железобетонных колец диаметром 2000 мм.

Таблица 4.28

Основные характеристики септиков

Пропускная способность, м³/сутки	Число обслуживаемого населения, чел	Вместимость, м³		Продолжительность пребывания сточных вод, сутки	Диаметр камеры, м	Число камер, шт.	Диаметр дозатора, м	Число дозаторов
		требуемая	полезная					
0,5	5	1,5	1,61	3,23	1	1	—	—
1	10	3	3,22	3,22	1	2	—	—
			3,62	3,62	1,5	1	—	—
2	20	6	6,44	3,22	1	4	—	—
			7,24	3,62	1,5	2	—	—
			6,44	3,22	2	1	—	—
4	40	12	14,48	3,62	1,5	4	1,5	1
			12,88	3,22	2	2	2	1
8	80	20	21,72	2,72	1,5	6	1,5	1(2)
			25,76	3,21	2	4	2	
12	120	30	38,64	3,21	2	6	2	1

Впуск и выпуск воды может быть осуществлен с помощью тройников, концы которых опущены в жидкость ниже корки. Верхняя часть тройника должна быть открытой и доступной для очистки. Вода из одной камеры септика поступает в другую через отверстия в разделительных стенках. Для задержания плавающих веществ перед отводящей трубой может быть установлен щит, верхняя грань которого должна возвышаться над уровнем воды в септике не менее чем на 20 см.

Осадок из септика следует периодически удалять, но не полностью — около 20% его нужно оставлять для заражения анаэробными бактерия-

ми вновь поступающего осадка. Осадок удаляется самотеком по иловой трубе под гидростатическим напором или откачивается насосом.

Расчет септика состоит в определении объема проточной и иловой частей (корки и осадка на дне). Проточную часть рассчитывают на пребывание в ней воды в течение 1—3 суток. При расходе сточных вод до 5 м³/сутки проточная часть принимается равной 3 Q, а при расходе более 5 м³/сутки — не менее 2,5 Q (где Q — суточный расход воды).

Для бытовых сточных вод расход выпадающего осадка с влажностью до 95% составляет 0,8 л/сутки на одного человека. В нижних слоях влажность выпавшего осадка вследствие уплотнения доходит до 85%. При расчете емкости иловой части можно принять среднюю влажность осадка равной 90%. Кроме того, в септиках происходит распад ила в среднем на 30%. Таким образом, объем иловой части септика на одного человека при сроке перегнивания 180 дней с учетом содержания 20% осадка, остающегося при чистке септика, составит:

$$W_{ил} = \frac{0{,}8 \cdot 180\,(100 - 95)\,(1 - 0{,}3)}{100 - 90}\,1{,}2 = 60{,}5 \text{ л}.$$

Для упрощения эксплуатации септиков длительность пребывания ила в установках малого объема может быть увеличена до 1 года, что приводит к увеличению объема септической части.

Обработанные в септиках сточные воды могут быть использованы в агрикультурных целях.

§ 99. ДВУХЪЯРУСНЫЕ ОТСТОЙНИКИ

Принцип работы двухъярусных отстойников

Двухъярусные отстойники, или эмшеры, применяются для отстаивания сточной воды, сбраживания и уплотнения выпавшего осадка. Благодаря простоте, сооружения подобного типа получили большое распространение как у нас, так и за рубежом, главным образом для небольших и средних установок с расходом до 10 тыс. м³/сутки.

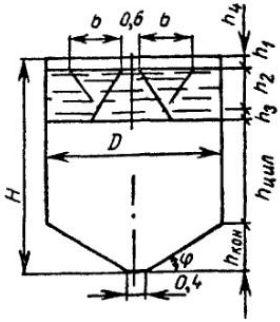


Рис. 4.47. Схема двухъярусного отстойника с двумя желобами

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 (рис. 4.47).

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.

Устройство щели частично предотвращает возможность заражения осветленной воды продуктами гниения.

Впуск воды в осадочный желоб и выпуск из него выполняют так же, как и в горизонтальных отстойниках: в виде водосливных и сборных лотков на всю ширину желоба. В начале осадочной части устанавлива-

ют входную полупогружную доску для равномерного распределения воды по всему сечению, а в конце — выходную для задерживания на поверхности воды всплывающих частиц.

Глубину осадочных желобов принимают 1,2—2,5 м, так как при большей глубине нельзя достигнуть равномерного протекания воды по всему поперечному сечению. Сброженный ил удаляют из септической камеры снизу (как в вертикальных отстойниках) через иловую трубу диаметром 200 мм под гидростатическим напором 1,5—1,8 м, считая от центра отверстия иловой трубы до уровня воды.

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 продуктов; 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.

Расчет двухъярусного отстойника

Проточную часть двухъярусного отстойника — осадочный желоб — рассчитывают как горизонтальный отстойник. Задавшись продолжительностью пребывания воды в желобе $t=1{,}5$ ч и высотой желоба H, определяют скорость выпадения u, мм/с, тех взвешенных веществ, которые могут быть задержаны:

$$u=\frac{H}{3{,}6t}. \tag{4.88}$$

По соответствующим таблицам в зависимости от концентрации взвешенных веществ определяют в процентах эффект выпадения взвешенных веществ. Обычно он колеблется от 60 до 65%.

Объем всех желобов $W_ж$ определяют по формуле

$$W_ж=qt; \tag{4.89}$$

площадь живого сечения ω одного желоба определяют по формулам:

$$\omega=bh_1+bh_2/2, \text{ или } \omega\approx\frac{W_ж}{Lnn_ж}, \tag{4.90}$$

где q — расчетный расход, м³/с;
t — продолжительность пребывания воды в желобе, с;
b — ширина желоба, м,
h_1 и h_2 — высота соответственно прямоугольной и треугольной части желоба, м;
L — длина желоба, м (принимается в соответствии с выбранным диаметром типового двухъярусного отстойника);
n — число двухъярусных отстойников;
$n_ж$ — число желобов в отстойнике.

При наклоне нижней грани к горизонту под углом 50° С формула (4.90) может быть преобразована:

$$b=\frac{2h_2}{1{,}2} \text{ и } \omega=bh_1+0{,}3b^2. \tag{4.91}$$

Поднимающиеся вместе с газами частицы ила всплывают из септической камеры на поверхность и образуют корку в пространстве, не занятом осадочным желобом. Зимой она утепляет сооружение, но, достигая большой толщины, мешает правильной его работе, поэтому корку необходимо периодически разбивать и погружать в воду.

Во избежание быстрого накопления корки, а также для получения достаточного объема буферной иловой воды площадь поверхности, не занятая осадочными желобами, должна составлять не менее 20% общей площади поверхности двухъярусного отстойника. Расстояние между наружными стенками соседних осадочных желобов следует принимать не менее 0,5 м.

Объем гнилостной камеры принимают в зависимости от продолжительности сбраживания органического вещества, которая, в свою очередь, зависит от температуры сточной воды и температуры сбраживания. Объем иловой камеры, приходящийся на одного человека, принимают в зависимости от средней температуры сточной воды в зимнее время (табл. 4.29).

Таблица 4.29

Объем септической (иловой) камеры двухъярусных отстойников

Средняя зимняя температура сточных вод, °С	6	7	8,5	10	12	15	20
Объем септической камеры, л, на одного жителя $W_{ил}$	110	95	80	65	50	30	15

Примечания 1 Объем септической камеры двухъярусных отстойников должен быть увеличен на 70% при подаче в нее ила аэротенков на полную очистку и высоконагружаемых биофильтров и на 30% при подаче ила из отстойников после капельных биофильтров и аэротенков на неполную очистку

2 Объем септической части двухъярусных отстойников для осветления сточной воды при подаче ее на поля фильтрации или коммунальные поля орошения может быть уменьшен, но не более чем на 20%

Общий объем иловой камеры

$$W_{общ} = W_{ил} N_{пр}, \tag{4.92}$$

где $N_{пр}$ — приведенное число жителей.

При наличии производственных сточных вод, состав которых приближается к составу бытовых стоков, дополнительный объем иловой камеры может быть найден по эквивалентному числу жителей из соотношения

$$N_э = A/65, \tag{4.93}$$

где A — суточное количество сухого вещества в осадке производственных сточных вод, г;

65 — количество осадка, г, сухого вещества, приходящееся на одного человека в сутки.

Для лучшего сползания сброженного осадка ко дну нижнюю часть иловой камеры делают в виде конуса с углом наклона образующей $\varphi = 30°$. Практика эксплуатации показала, что уклон днища целесообразно делать еще бóльшим, чем рекомендуется нормативами.

Иловая камера занимает всю коническую часть сооружения и часть цилиндрической.

Прежде всего нужно вычислить высоту конической части $h_{кон}$. При уклоне днища 30° и диаметре отстойника D

$$h_{кон} = 0{,}29\,D - 0{,}2 \operatorname{tg} 30° \approx 0{,}29\,D - 0{,}12, \tag{4.94}$$

После этого, определив $W_{кон}$, найдем высоту иловой камеры в цилиндрической части двухъярусного отстойника из выражения

$$h_{цил} = \frac{W_{общ} - W_{кон}}{\pi D^2/4}. \qquad (4.95)$$

Общая строительная высота двухъярусного отстойника

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_{кон} + h_{цил} + h_4, \qquad (4.96)$$

где h_3 — нейтральный слой между гнилостной камерой и щелью желоба, равный 0,5 м;

h_4 — возвышение борта двухъярусного отстойника над поверхностью воды, равное также 0,5 м.

Остальные обозначения приведены в формуле (4.90) и на рис. 4.47.

Конструкции двухъярусных отстойников

В конструктивном отношении двухъярусные отстойники различают по очертанию в плане, числу желобов и числу иловых камер. По очертанию в плане эти отстойники могут быть круглые и прямоугольные. Последние требуют большого расхода материала и менее удобны в эксплуатации. Обычно двухъярусные отстойники устраивают с двумя желобами. Одиночные желоба применяют при малых диаметрах отстойников (до 5—6 м).

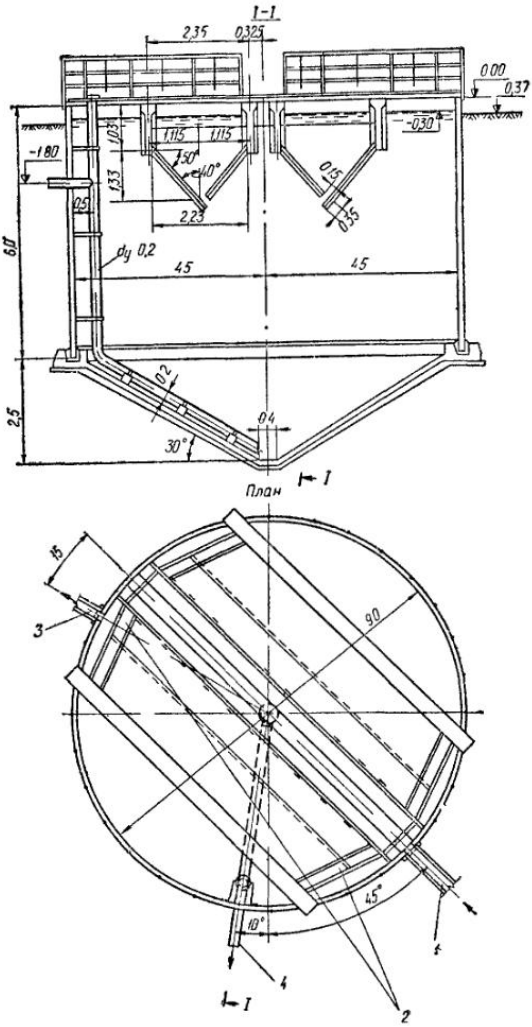


Рис 4 48 Одиночный двухъярусный отстойник

1 — подающий лоток, *2* — полупогружная доска, *3* — отводящий лоток, *4* — выпуск ила

Показанный на рис. 4.48 типовой одиночный двухъярусный отстойник имеет осадочные желоба правильной прямоугольной формы в плане. Распределительный лоток и боковой водослив спрямлены и расположены перпендикулярно оси желобов. Верхняя часть гребня водослива имеет обтекаемую форму, чтобы предотвратить налипание плавающих предметов. Во избежание образования подпора гребень водослива на входе устраивают на 5 см выше гребня на выходе сточной воды из осадочных желобов. Эти незначительные изменения в конструкциях желобов позволяют повысить эффект осаждения взвеси.

Основные размеры типовых двухъярусных отстойников, разработанных институтом Союзводоканалпроект, приведены в табл. 4.30.

Таблица 4 30

Основные размеры и расчетные объемы типовых двухъярусных отстойников из сборного железобетона

Диаметр	Общая высота отстойника	Высота конической части	Объем двух осадочных желобов	Объем иловой камеры	Строительный объем, м³, при компоновке из четырех отстойников (из восьми отстойников)
м			м³		
9	8,5	2,5	42,6	258	1852(3704)
12	8,2 9,4	3,4	100,3	300 435	2848(5696) 3316(6632)

Двухъярусные отстойники могут быть железобетонные, кирпичные и деревянные. Наиболее распространены железобетонные. Кирпичные отстойники могут применяться только для малых установок, а деревянные — только как временные сооружения размером в плане не более 5×5 м.

Наряду с достоинствами, присущими двухъярусным отстойникам, они имеют и недостатки. Основным недостатком двухъярусных отстойников является большой объем септической части, сильно удорожающий всю установку. Большая глубина отстойников делает чевыгодным их применение при высоком уровне грунтовых вод. Поэтому их применение целесообразно только для установок пропускной способностью до 10 000 м³/сутки.

Для обработки высококонцентрированных сточных вод разработана (ЛИСИ) новая конструкция — так называемый осветлитель-перегниватель (рис. 4.49).

Сточные воды по лотку *1* подаются в центральную трубу *6*. Напор воды, равный 0,4—0,6 м, обусловливаемый разностью отметок уровней воды над входом в трубу и в осветлителе, обеспечивает скорость движения воды в центральной трубе 0,5—0,7 м/с, необходимую для засасывания воздуха из атмосферы.

Воздушная смесь из центральной трубы *6* направляется отражательным щитом вверх в камеру флокуляции. Здесь происходят перемешивание и самопроизвольная коагуляция сточных вод в течение 20 мин, после чего они поступают в отстойную камеру, где образуется взвешенный слой осадка. Продолжительность пребывания воды в отстойной камере не менее 70 мин.

Осветленная вода собирается периферийным лотком *3*.

Выпавший на дно осветлителя осадок по трубе *10* направляется в приемный резервуар насосной станции, откуда насосом по трубе *4* подается в верхнюю зону перегнивателя, в котором подвергается сбраживанию. Выпуск сброженного осадка производится по иловой трубе *12* через 7—10 суток.

Для предупреждения образования корки в иловой камере осадок ежедневно в течение 3—4 ч перемешивается с помощью насосов. Перемешивание осадка способствует интенсификации процесса брожения.

Эффект задержания взвешенных веществ в осветлителе несколько выше, чем в двухъярусных отстойниках, если температура сточных вод относительно постоянна. К числу достоинств осветлителей-перегнивателей относится также и то, что в отличие от двухъярусных отстойников иловая камера в них полностью изолирована от отстойной зоны. Это исключает возможность попадания бродящего осадка в осветленную воду.

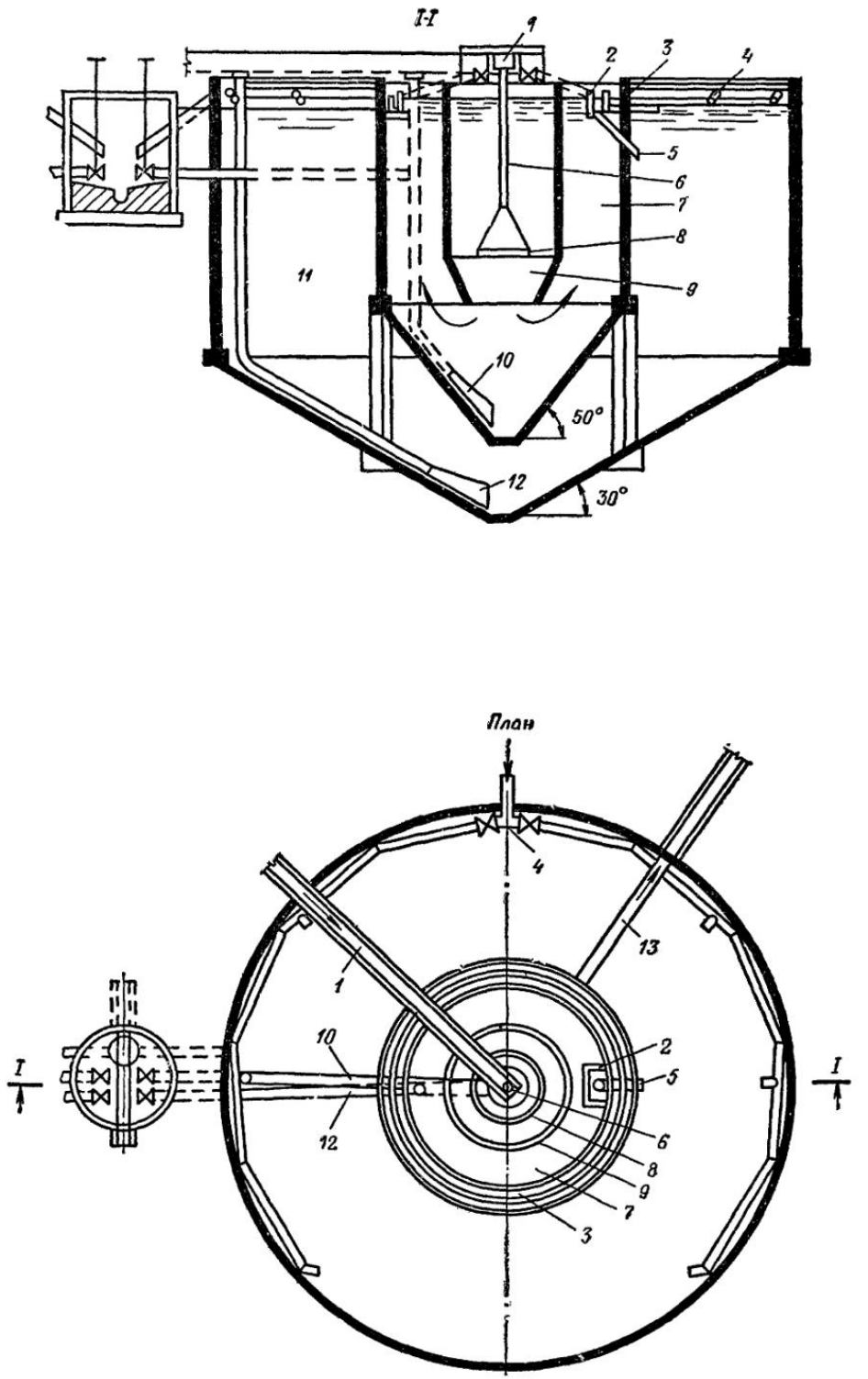


Рис. 4.49. Осветлитель-перегниватель

1 — подающий лоток; *2* — лоток для удаления корки; *3* — сборный лоток; *4* — илораспределительная труба; *5* — труба для удаления корки; *6* — подающая труба; *7* — отстойная камера; *8* — отражательный щит; *9* — камера флокуляции; *10* — иловая труба; *11* — камера для сбраживания осадка; *12* — труба для удаления сброженного осадка; *13* — лоток для отвода осветленной воды

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 отечественной и 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. В СССР наряду с мезофильным сбраживанием широкое распространение получил и термофильный процесс.



Рис. 4 50. Зависимость продолжительности сбраживания осадка от температуры брожения

Термофильное сбраживание отличается большей интенсивностью распада органических веществ и заканчивается примерно в 2 раза быстрее, за счет чего вдвое сокращается требуемый объем сооружений. На рис. 4.50 показаны зависимости сроков сбраживания от температуры, а также ход процесса при мезофильном и термофильном сбраживании.

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 газов 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.

На современных очистных станциях сбраживанию обычно подвергается смесь сырого осадка и активного ила. Минерализация органических веществ осадка и ила в процессе брожения сопровождается выделением продуктов распада в газ и в иловую воду и приводит к значительным изменениям в химическом составе сброженной смеси. Общий объем бродящей смеси практически не изменяется и, так как сухое вещество в результате распада уменьшается, влажность осадка в процессе брожения возрастает. Возрастает и зольность, поскольку зольная часть осадка при сбраживании остается неизменной, а сухое вещество уменьшается.

Эффективность работы метантенков оценивается по величине распада беззольного вещества, который подсчитывают либо по выходу газа $P_г$, либо по убыли беззольного вещества $P_{бз}$. В первом случае массу газа

выражают в процентах от массы загруженного беззольного вещества. Распад по газу показывает, какая часть беззольного вещества превратилась в процессе брожения в газ. Значение $P_{бз}$ подсчитывают по данным анализа загруженного и выгруженного осадков на влажность и зольность. Убыль беззольного вещества выражают в процентах от массы загруженного беззольного вещества.

Величины $P_г$ и $P_{бз}$ могут совпадать или значительно отличаться друг от друга. Для метантенков высоконагружаемых $P_г$ обычно больше $P_{бз}$. Обратное соотношение $P_{бз} > P_г$ характерно для низконагружаемых метантенков с длительным периодом сбраживания, когда значительная часть продуктов распада после окончания газовыделения поступает в иловую воду.

Выход газа при сбраживании в метантенках обусловливается распадом только жиров, белков и углеводов, составляющих основную массу беззольного вещества осадков.

Родигер на основании обобщения обширных литературных данных и многочисленных экспериментов по сбраживанию углеводов, жиров и белков, присущих городским канализационным осадкам, показал, что состав и удельный выход газа при распаде каждого компонента осадка различны (табл. 4.31).

Таблица 4.31

Масса и состав газа, выделяющегося при анаэробном сбраживании углеводов, жиров и белков

Компоненты осадка	Удельный выход газа, мл/г	Состав газа, %		Плотность газа, г/м³, при нормальных условиях	Масса газа, г, получаемого с 1 г распавшегося вещества
		CH_4	CO_2		
Углеводы . . .	790	50	50	$1{,}25 \cdot 10^3$	0,985
Жиры	1250	68	32	$1{,}05 \cdot 10^3$	1,31
Белки	704	71	29	$1{,}01 \cdot 10^3$	0,71

Наибольшая масса газа образуется при распаде жиров, наименьшая — при распаде белков. Поскольку в составе активного ила преобладают белки, выход газа при его сбраживании оказывается меньшим, чем при сбраживании осадка из первичных отстойников.

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 обусловливается 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.

Исследованиями Л. И. Гюнтер установлено, что жироподобные вещества осадков городских сточных вод способны распадаться не более чем на 70%, предел распада углеводов равен 62,5%, белков —48%. Пользуясь предельными значениями распада компонентов и данными Родигера, приведенными в табл. 4.31, и зная химический состав осадка, можно подсчитать максимально возможный выход газа с 1 г сбраживаемого осадка:

$$a = (1{,}31 \cdot 0{,}7ж) + (0{,}71 \cdot 0{,}48б) + (0{,}985 \cdot 0{,}625у), \qquad (4.97)$$

где a — предел сбраживания осадка (выражается в %);
$ж$, $б$, $у$ — содержание соответственно жиров, белков и углеводов в 1 г беззольного вещества сбраживаемого осадка;

1,31; 0,71; 0,985 — масса газа, г, получаемая с 1 г распавшегося вещества;

0,7; 0,48; 0,625 — пределы сбраживания компонентов в долях единицы.

Состав осадков зависит от состава очищаемой воды, поэтому содержание белков, жиров и углеводов в осадках разных станций изменяется в значительной степени, особенно при поступлении в городскую канализацию производственных сточных вод. В зависимости от химического состава осадков изменяется и предел сбраживания. Например, по данным АКХ, сырой осадок очистной станции г. Ярославля имеет предел сбраживания 36,6%, а для осадка Тушинской станции аэрации г. Москвы эта величина составляет 51%.

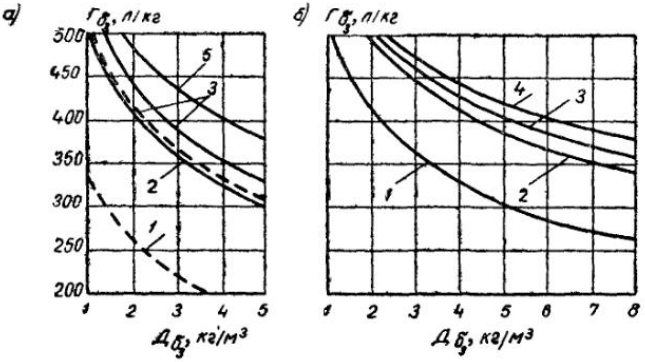


Рис. 4 51. Распад беззольного вещества $P_{бз}$ в зависимости от дозы его загрузки $Д_{бз}$

а — мезофильное сбраживание (сплошные линии — при t=33° С, пунктирная — при t=31° С); *б* — термофильное сбраживание при t=52° С; *1* — активный ил; *2* — смесь состава 1,1 : 1; *3* — то же, 0,8 : 1; *4* — то же, 0,45 : 1; *5*—сырой осадок

Важным фактором, предопределяющим весь ход распада органического вещества, является доза загрузки. Обычно указываются суточные дозы загрузки по объему и по беззольному веществу.

Доза загрузки по объему выражается в процентах. Она показывает, какую часть от объема метантенка составляет суточный объем загружаемого осадка.

Доза загрузки по объему $Д$ и продолжительность сбраживания $П$ связаны соотношением: $П = 100/Д$.

Доза загрузки по беззольному веществу $Д_{бз}$ — это масса беззольного вещества осадка, кг, подаваемая на 1 м³ объема метантенка в сутки [кг/(м³·сутки)].

В зависимости от влажности и зольности осадка одной и той же объемной дозе могут соответствовать разные значения доз загрузки по беззольному веществу.

Доза загрузки является одним из важнейших технологических параметров, определяющих в совокупности с рядом других факторов степень распада органических веществ в метантенке.

В зарубежной литературе процесс брожения в метантенках часто описывается как обычная мономолекулярная реакция. В отечественной практике для математического описания этого процесса наиболее широкое применение нашли прямолинейная и степенная зависимости степени распада беззольного вещества от дозы загрузки метантенков. Влияние других параметров (таких, как влажность, температура, состав осадка) учитывается введением в уравнение коэффициентов, полученных экспериментально.

На основе обобщения эксплуатационных данных Курьяновской станции аэрации А. А. Карпинским предложены расчетные уравнения и графики (рис. 4.51), связывающие степень распада беззольного вещества $P_{бз}$ с дозой загрузки $Д_{бз}$. Уравнение имеет вид

$$P_{бз} = \alpha Д_{бз}^{-x}, \qquad (4.98)$$

где α — величина распада при $Д_{бз}=1$;

x — экспериментальный коэффициент;

α и x зависят от температурного режима, влажности и химического состава осадка.

Аналогичные уравнения и соответствующие им графики (рис. 4.52) связывают массу выделившегося газа с дозой загрузки по беззольному веществу.

Рис. 4.51. и 4.52 дают наглядное представление об уменьшении распада и интенсивности газовыделения при возрастании дозы загрузки. Устойчивый процесс брожения в метантенках обеспечивает распад беззольного вещества в среднем на 40%.

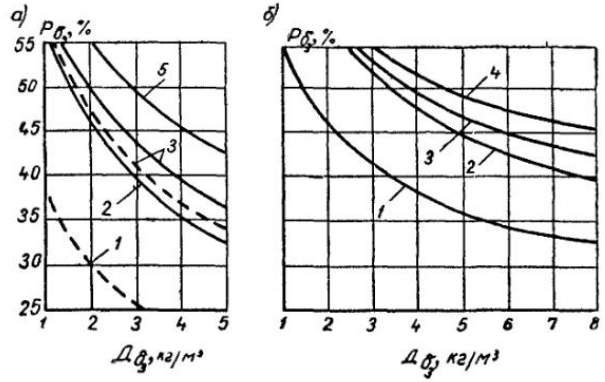


Рис. 4.52. Выход газа $Р_{бз}$, л на 1 кг загруженного абсолютно сухого вещества в зависимости от дозы его загрузки $Д_{бз}$ (экспликацию см. рис. 4.51)

Академией коммунального хозяйства предложена прямолинейная зависимость

$$y=(a-nД)/100, \qquad (4.99)$$

где n — экспериментальный коэффициент, зависящий от влажности и температуры брожения; принимается по табл. 4.32;

y — выход газа, м³ на 1 кг загруженного беззольного вещества (плотность газа принята равной 1).

$Д$ — суточная доза загрузки метантенка, % (табл. 4.33).

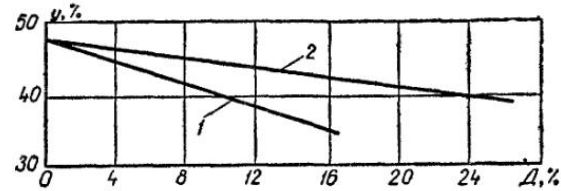


Рис. 4.53. Зависимость распада беззольного вещества осадка от дозы загрузки метантенка и температуры сбраживания

1 — t=32 ... 35° С; 2 — t=53° С

Графически эта зависимость изображена на рис. 4.53. Прямолинейный характер зависимости нарушается по достижении предельных для каждого температурного режима доз нагрузки.

Таблица 4.32

Значения коэффициента n

Температура сбраживания, °С	n при влажности загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
33	1,05	0,89	0,72	0,56	0,4
53	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Таблица 4.33

Суточная доза загрузки $Д$, % в метантенк

Режим сбраживания	$Д$ при влажности загружаемого осадка, %				
	93	94	95	96	97
Мезофильный . . .	7	8	9	10	11
Термофильный . . .	14	16	18	20	22

Зависимости, предложенные А. А. Карпинским и АКХ, действительны в определенных интервалах исследованных доз загрузки и не могут быть распространены на широкий диапазон изменения доз, так как теряют при этом физический смысл. На наш взгляд, следует стремиться к нахождению кинетических зависимостей, отражающих существо процесса и охватывающих максимальное число параметров, влияющих на процесс.

Расчет метантенков

Расход осадка (считая по сухому веществу) $O_{сух}$, т/сутки, и расход избыточного активного ила $И_{сух}$, т/сутки, определяют по следующим формулам:

$$O_{сух} = \frac{СЭК}{1000 \cdot 1000} Q; \tag{4.100}$$

$$И_{сух} = \frac{C(1 - Э)n - б}{1000 \cdot 1000} Q. \tag{4.101}$$

где C — начальная концентрация взвешенных веществ, мг/л;
$Э$ — эффект задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках в долях единицы;
K — коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвешенных веществ, не улавливаемых при отборе проб для анализа, и принимаемый равным 1,1—1,2;
Q — средний приток сточных вод на очистную станцию, м³/сутки;
n — коэффициент, учитывающий увеличение и неравномерность прироста активного ила в процессе очистки и равный 1,15—1,25;
$б$ — вынос активного ила из вторичных отстойников в водоем, мг/л.

Расход беззольного вещества осадка $O_{бз}$, т/сутки, и избыточного активного ила $И_{бз}$, т/сутки, находят по уравнениям:

$$O_{бз} = \frac{O_{сух}(100 - B_г)(100 - З_{ос})}{100 \cdot 100}; \tag{4.102}$$

$$И_{бз} = \frac{И_{сух}(100 - B'_г)(100 - З_{ил})}{100 \cdot 100} \tag{4.103}$$

где $B_г$ и $B'_г$ — гигроскопическая влажность соответственно сырого осадка и избыточного активного ила, % (равна в среднем 5—6%);
$З_{ос}$ и $З_{ил}$ — зольность сухого вещества сырого осадка и активного ила, % (равна в среднем соответственно 27 и 25%).

Расход сырого осадка $V_{ос}$, м³/сутки, и избыточного активного ила $V_{ил}$, м³/сутки, определяется по формулам:

$$V_{ос} = \frac{100 O_{сух}}{(100 - W_{ос})\rho_{ос}}; \tag{4.104}$$

$$V_{ил} = \frac{100 И_{сух}}{(100 - W_{ил})\rho_{ил}}, \tag{4.105}$$

где $W_{ос}$ — влажность сырого осадка, % (колеблется от 93 до 95%);
$W_{ил}$ — влажность уплотненного активного ила, % (изменяется от 96,5 до 97,5%);

$\rho_{ос}$ и $\rho_{ил}$ — плотность соответственно сырого осадка и активного ила, которую для упрощения расчетов можно принимать равной единице

Общий расход сырого осадка и избыточного активного ила будет: по сухому веществу, т/сутки,

$$M_{сух} = O_{сух} + И_{сух}; \quad (4\ 106)$$

по беззольному веществу, т/сутки,

$$M_{бз} = O_{бз} + И_{бз}; \quad (4\ 107)$$

по расходу смеси фактической влажности, м³/сутки,

$$M_{общ} = V_{ос} + V_{ил}. \quad (4.108)$$

Средняя влажность смеси, %, может быть определена по формуле

$$B_{см} = 100\left(1 - \frac{O_{сух} + И_{сух}}{V_{ос} + V_{ил}}\right). \quad (4.109)$$

Средняя зольность абсолютно сухого вещества смеси, %,

$$З_{см} = 100\left[1 - \frac{O_{бз} + И_{бз}}{O_{сух}(100 - B_г)/100 + И_{сух}(100 - B'_г)/100}\right]. \quad (4.110)$$

Объем метантенка, м³, определяется в зависимости от фактической влажности осадка (или смеси осадка с активным илом) по формуле

$$W = M_{общ} \cdot 100/Д, \quad (4.111)$$

где $M_{общ}$ — количество осадка (или смеси осадка с активным илом), поступающего в сутки в метантенк, м³,

$Д$ — суточная доза загрузки в метантенк, %, принимаемая по табл. 4.33.

При содержании в осадке СПАВ, превышающем 11—13 мг/г сухого вещества при сбраживании в мезофильных условиях и 6—7 мг/г в термофильных, доза загрузки метантенков, %, рассчитывается по формуле

$$Д = \frac{10\,q}{C(100 - B)}, \quad (4.112)$$

где q — предельно допустимая нагрузка по СПАВ, составляющая для алкилсульфонатов с прямой цепью 40 г/м³, для «мягких» и промежуточных анионоактивных СПАВ—85 г/м³ рабочего объема метантенка в сутки;

C — концентрация СПАВ в загружаемом осадке, мг/г;

B — влажность загружаемого осадка, %.

Выход газа при сбраживании определяется из уравнения (4 99) Величину максимально возможного сбраживания беззольного вещества загрузки a определяют по формуле (4.97).

Таким образом, для расчета метантенков необходимо знать состав осадка. При отсутствии данных о химическом составе можно принимать для осадка из первичных отстойников $a_о = 53\%$, а для избыточного активного ила $a_и = 44\%$.

Величину a для смеси осадка с активным илом следует определять по формуле

$$a_{см} = (a_о O_{бз} + a_и И_{бз})/M_{бз}. \quad (4.113)$$

Указанный метод расчета основан на данных эксперимента, достаточно прост и поэтому рекомендуется техническими условиями для проектирования метантенков.

Конструкции метантенков

Метантенки проектируются в виде герметических резервуаров с подвижным (плавающим) и неподвижным перекрытием.

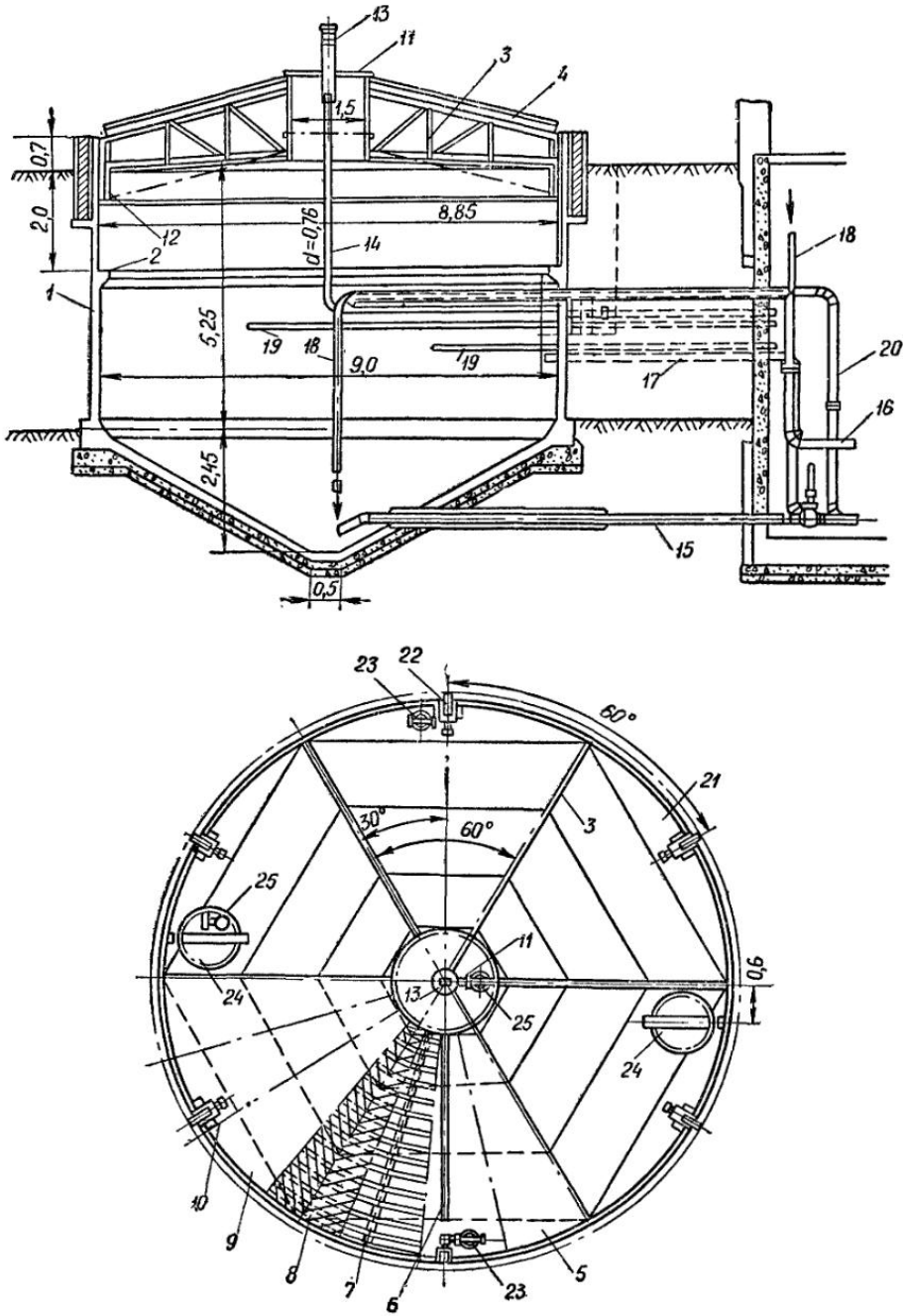


Рис. 4.54. Метантенк с плавающим перекрытием

1 — железобетонный резервуар; *2* — ограничитель; *3* — металлическая решетчатая ферма; *4* — теплоизоляция перекрытия; *5* — слой толя по металлическому листу; *6* — бруски; *7* — рабочий настил из досок толщиной 2,5 см; *8* — защитный настил из досок толщиной 1,6 см; *9* — пергамин по битуму; *10* — рубероид (верхний слой); *11* — газовый колпак; *12* — «фартук» перекрытия; *13* — газосборная труба; *14* — газопровод; *15* — трубопровод сброженного осадка; *16* — трубопровод для подачи свежего осадка; *17* — трубопровод для отвода иловой воды; *18* — паропровод; *19* — трубопровод для термометра сопротивления; *20* — трубопровод для перемешивания осадка; *21* — металлическая обшивка; *22* — ролик; *23* — люк для откачки конденсата; *24* — люк-лаз; *25* — люк для отбора проб

К числу достоинств метантенков с плавающим перекрытием (рис. 4.54) относится их взрывобезопасность, возможность регулирования загрузки и выгрузки осадка по положению плавающего перекрытия по высоте. Однако применение их ограничено, так как вследствие большого зеркала бродящей массы создаются благоприятные условия для образования корки. Кроме того, при низкой температуре воздуха затрудняется движение плавающего перекрытия по направляющим роликам из-за их обмерзания.

Наибольшее распространение в отечественной практике получили метантенки с неподвижными перекрытиями (рис. 4.55 — 4.57).

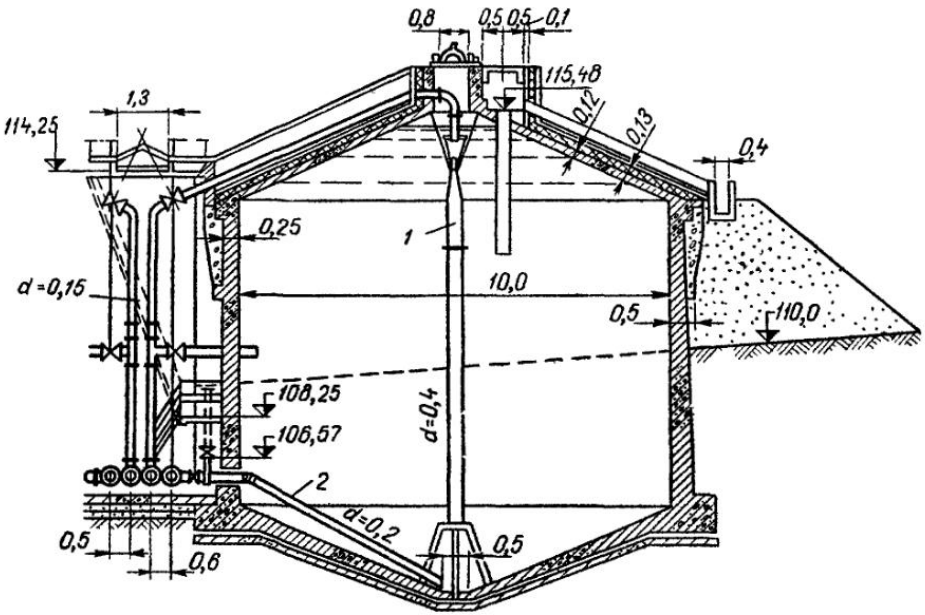


Рис. 4.55. Метантенк с неподвижным незатопленным перекрытием

1 — гидроэлеватор; *2* — выпуск ила

На рис. 4.56 представлен метантенк диаметром 24 м и общей высотой 19,6 м. Полезный объем метантенка 5200 м³, перекрытие полусферическое. В верхней части перекрытия метантенка расположена горловина диаметром 4 м и высотой 2,5 м. Поверхность бродящей массы всегда находится выше основания горловины, вследствие чего площадь свободного зеркала в метантенках значительно сокращается. При уменьшении этой площади увеличивается интенсивность газовыделения на единицу площади, что способствует разбиванию корки. При этом площадь горловины резервуара назначается исходя из нагрузки по объему выходящего газа — 700—1200 м³/м² в сутки.

Для сбора газа на горловине метантенка установлены газовые колпаки высотой 3,8 м. Давление газа в них составляет 3—3,5 кПа.

Отечественный опыт показывает, что отношение диаметра метантенка к его глубине должно находиться в пределах 1 : 1—1 : 0,8.

Газо- и теплоизоляцию бетонного перекрытия метантенков выполняют из четырех-пяти слоев перхлорвиниловой массы, уложенной по бетону и покрытой цементной стяжкой. Далее уложен слой шлака толщиной 50 см, также покрытый цементной стяжкой, а сверху — трехслойной рулонной кровлей.

С точки зрения режима подачи осадков наиболее рациональной является эксплуатация метантенков по прямоточной схеме, при которой загрузка и выгрузка осадка происходит одновременно и непрерывно.

Такой режим создает благоприятные температурные условия в метантенке, так как исключается охлаждение бродящей массы от залповых поступлений более холодного сырого осадка и обеспечивает равномерное газовыделение в течение суток.

Осадок подается через дозирующую камеру в верхнюю зону метантенка и выгружается из конусной части днища. Максимальное удаление друг от друга трубопроводов загрузки и выгрузки предотвращает попадание несброженного осадка в выгружаемую массу.

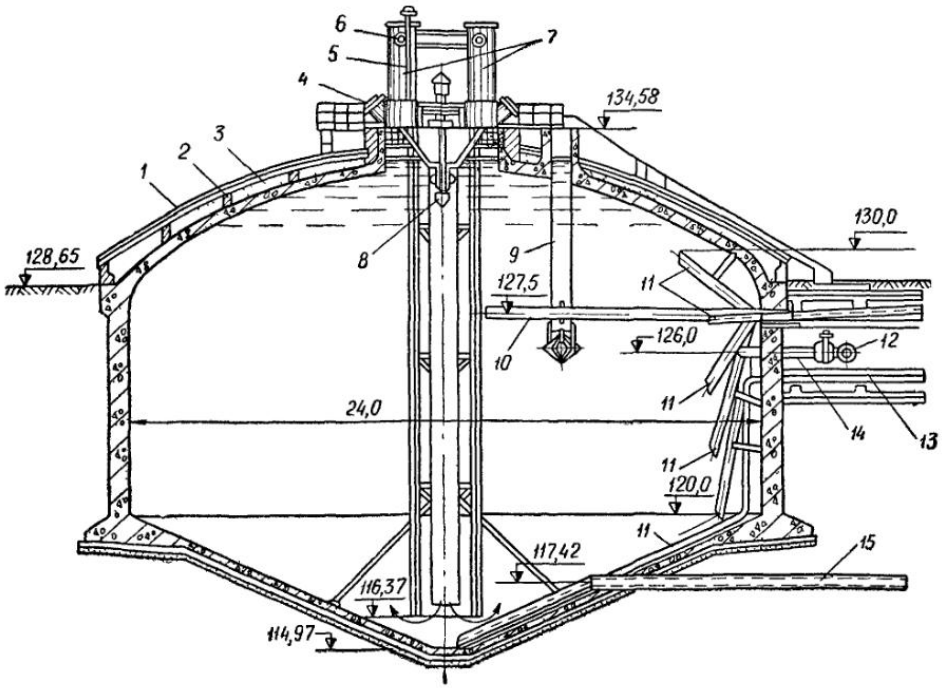
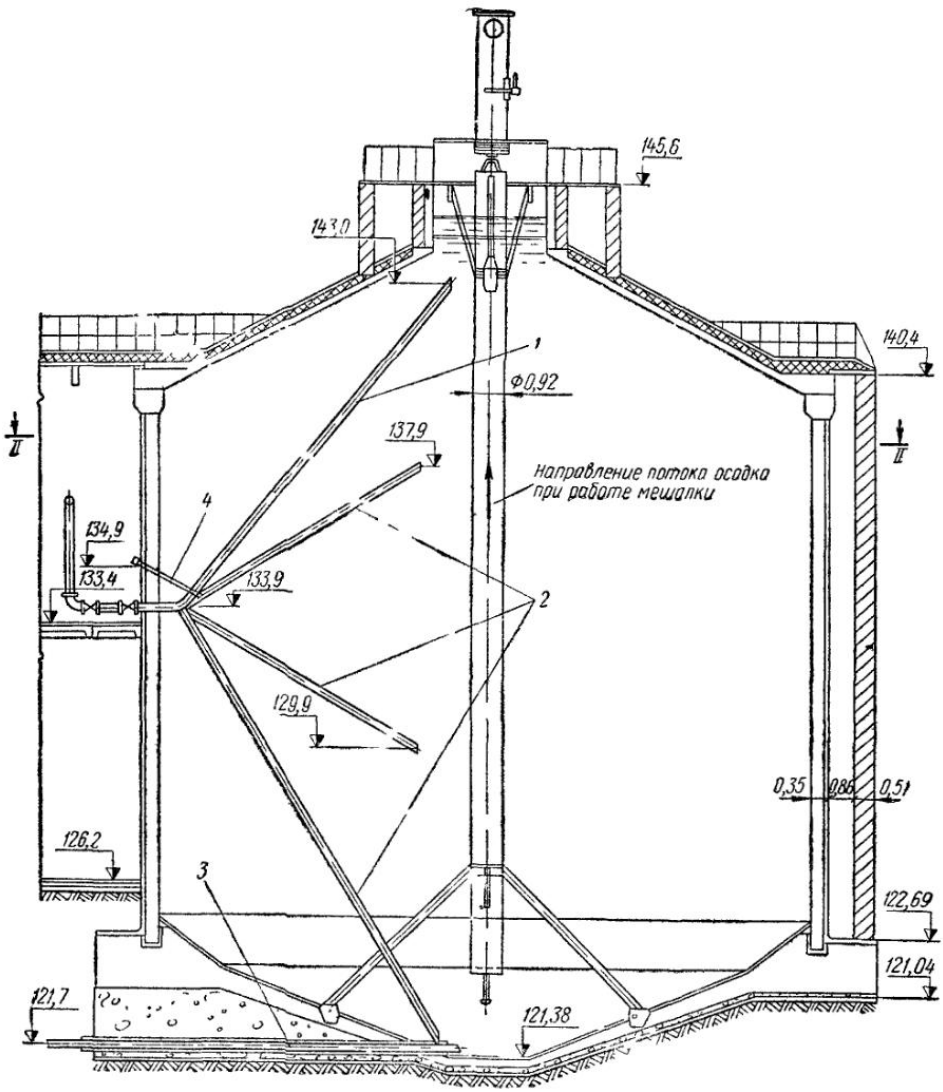


Рис. 4.56. Метантенк Курьяновской станции аэрации

1 — мягкая кровля; *2* — кирпич; *3* — шлак; *4* — смотровой люк; *5* — труба для выпуска газа в атмосферу, *6* — газопровод, d=200 мм, от газового колпака; *7* — газовые колпаки; *8* — пропеллерная мешалка; *9* — переливная труба; *10* — трубопровод, d=250 мм, для загрузки сырого осадка и активного ила; *11* — трубопроводы, d=220 мм, для удаления иловой воды и выгрузки сброженного осадка с разных горизонтов, *12* — паровой инжектор, d=300 мм, для подогрева метантенков; *13* — трубопровод, d=250 мм, для выгрузки сброженного осадка из конусной части метантенка; *14* — термометр сопротивления; *15* — трубопровод, d=250 мм, для опорожнения метантенка (в футляре)

В конструкции метантенков Курьяновской станции аэрации (см. рис. 4.56) предусмотрены трубопроводы, расположенные на разных отметках по высоте метантенка. Первоначально эти трубопроводы предназначались для удаления иловой воды и выгрузки сброженного осадка с разных уровней. Однако при высоких дозах загрузки, характерных для метантенков Курьяновской станции, расслоения осадка в них не происходит и иловая вода не отделяется. Кроме того, вместе с осадком из первичных отстойников в метантенк попадает часть песка, не задержанного песколовками. Тяжелые минеральные части песка осаждаются на дно и при выгрузке с разных отметок постепенно накапливаются в метантенке, уменьшая полезный объем сооружения. Поэтому в настоящее время эти трубопроводы используются в основном для отбора проб с разных уровней и замера температуры по разрезу метантенка.

Метантенки больших размеров получают все более широкое применение. Так, объем каждого резервуара метантенков на очистной станции Могден (Англия) равен 3800 м^3, в Буффало (США) —5660 м^3, в Детройте (США) —8500 м^3.



Крупноразмерные метантенки построены и на Ново-Курьяновской станции аэрации (рис. 4.57).

Осадок в метантенке подогревается, как уже говорилось, различными способами. Подогрев горячей водой и острым паром, циркулирующим в трубчатых теплообменниках, малоэффективен и применяется только *для метантенков небольших размеров.*

В зарубежной практике получили распространение спиральные теплообменники, обладающие бóльшим коэффициентом теплопередачи, чем обычные трубчатые теплообменники. Указанный способ у нас не испытан.

Повсеместное применение в СССР получил способ подогрева осадка острым паром. Пар низкого давления с температурой 100—112° С подается во всасывающую трубу насоса при поступлении и перемешивании осадка или непосредственно в метантенк с помощью эжектирующих устройств; пар может подаваться также в дозирующий приемный колодец.

Пар, смешиваясь с осадком, конденсируется и нагревает его. Наиболее распространена подача пара пароструйным инжектором. Инжекто-

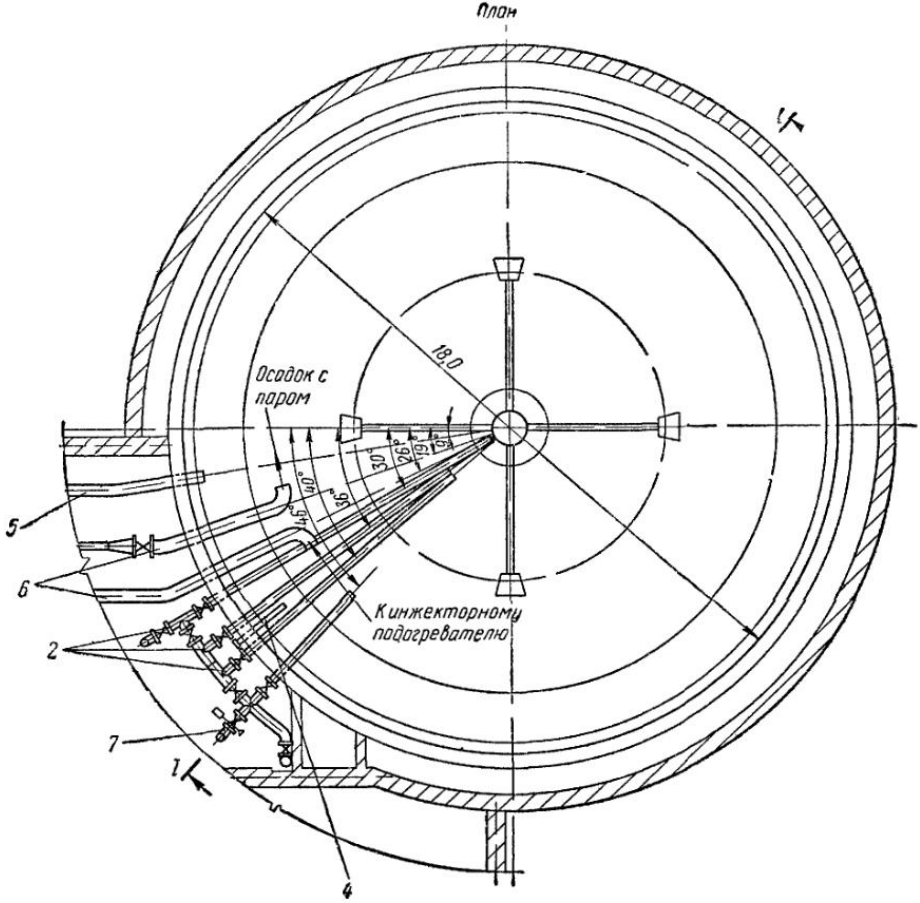


Рис. 4 57 Метантенк Ново-Курьяновской станции аэрации

1 — загрузочный трубопровод метантенка, ⌀ 219×8; *2* — выгрузочные трубопроводы сброженного осадка, ⌀ 219×8, *3* — трубопровод для откачки, ⌀ 273×8, *4* — труба с бобышкой для термометра, *5* — всасывающий трубопровод насоса, ⌀ 325×9, *6* — трубопроводы инжекторного подогревателя, *7* — трубопроводы для промывки, ⌀ 219×8

ры устанавливают в камерах управления по одному агрегату на каждый метантенк. Забирая в качестве рабочей жидкости осадок из метантенков и подавая смесь этой жидкости и пара снова в метантенк, паровой инжектор обеспечивает и подогрев осадка, и частичное перемешивание бродящей массы. Паровые инжекторы, установленные на метантенках Курьяновской станции аэрации, оказались удобными и надежными в эксплуатации.

В зимний период инжектор работает в течение 11—13 ч, а летом — 3—4 ч в сутки. Максимальный расход пара на один инжектор диаметром 250 мм составляет 1,2—1,5 т/ч. Давление пара в эксплуатационных условиях колеблется от 0,2 до 0,46 МПа.

Целесообразно перегретый пар подавать в дозирующую камеру. При температуре подогрева осадка в камерах 70—80° С происходит дегельминтизация осадка, что является обязательным условием в технологическом процессе обработки осадков на современных станциях.

При проектировании метантенков необходимо производить их теплотехнический расчет и определять баланс тепла, получаемого в резуль-

тате сжигания газа на топливо и расходуемого на возмещение потерь тепла в метантенке и на другие нужды станции. В метантенках тепло расходуется: а) на непосредственный подогрев загружаемого осадка до необходимой расчетной температуры; б) на возмещение потерь тепла, уходящего через стенки, днище и перекрытие метантенка; в) на возмещение потерь тепла, уносимого с уходящими газами.

Тепловой поток D, Вт, необходимый для подогрева сырого осадка, определяется по формуле

$$D = Q(T - T_0)c, \tag{4.114}$$

где Q — расход осадка, кг/ч;
T — расчетная температура в метантенке, К;
T_0 — температура сырого осадка, поступающего в метантенк, К;
c — удельная теплоемкость осадка, принимаемая равной 4,2 кДж/(кг·К).

Теплопотери через стенки метантенков определяются по СНиП, а через стенки, заглубленные в грунт, — по формуле

$$Q_1 = (T_в - T_н) K_у F, \tag{4.115}$$

где Q_1 — теплопотери, Вт;
$K_у$ — условный коэффициент теплопередачи, кВт/(м²·К);
F — площадь соответствующей зоны стенки, м².

Величина $K_у$ зависит от заглубления рассчитываемой зоны стенки и при глубине от поверхности земли до 2 м принимается равной 0,464; от 2 до 4 м — 0,232 и от 6 м и выше — 0,0696 кВт/(м²·К).

При термофильном процессе сбраживания возрастает расход пара для подогрева осадка. Для уменьшения общего расхода пара может быть применен предварительный подогрев осадка в скрубберной установке или в специальных теплообменниках.

Для обеспечения равномерного подогрева всего осадка и перемешивания вновь поступившей его порции со сброженной частью применяют искусственное перемешивание с помощью циркуляционных насосов, насоса с гидроэлеватором или пропеллерными мешалками. Осадок целесообразно перемешивать в течение 2—5 ч в сутки.

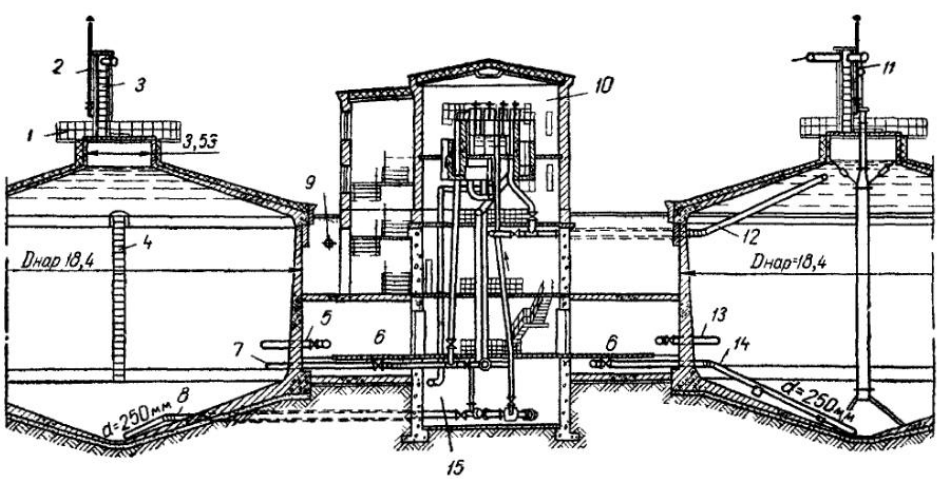


Рис. 4 58 Разрез метантенка

1 — мостик обслуживания; *2* — свеча; *3* — газовый колпак, *4* — металлическая стремянка; *5* — напорный трубопровод инжектора, *6* — помещение инжектора, *7* — трубопровод выпуска сброженного осадка (от пяты), *8* — трубопровод опорожнения (в кожухе); *9* — газопровод, *10* — помещение распределительных камер; *11* — таль, *12* — трубопровод для подачи сырого осадка; *13* — всасывающий трубопровод инжектора, *14*— трубопровод для выпуска сброженного осадка (от дна); *15* — помещение насосной установки

Таблица 4.34

Основные показатели по типовым проектам метантенков

Диаметр, м	Полезный объем одного резервуара, м³	Высота, м			Строительный объем, м³	
		верхнего конуса	цилиндрической части	нижнего конуса	здания обслуживания	киоска газовой сети
10	500	1,45	5	1,7	—	—
12,5	1000	1,9	6,5	2,15	652	100
15	1600	2,35	7,5	2,6	2035	112
17,5	2500	2,5	8,5	3,05	2094	136
20	4000	2,9	10,6	3,5	2520	174

Чтобы уменьшить затраты энергии, чаще применяют перемешивание осадка с помощью гидроэлеватора. Гидроэлеватор надежен в эксплуатации. Однако коэффициент полезного действия таких установок крайне низкий, поэтому их применяют только для метантенков вместимостью до 1700 м³. Метантенки большей вместимости оборудуют пропеллерными мешалками. В частности, такая мешалка установлена в метантенке Курьяновской станции (см. рис. 4.56). Мешалка имеет диаметр 750 мм, производительность 900 л/с, напор 1,15 м и частоту вращения винта 270 мин$^{-1}$. Винт насоса 30ПР-70 изготовлен по специальному заказу. При такой производительности мешалки ил, заполняющий весь объем метантенка, перемешивается в течение 2 ч.

Дополнительное перемешивание осадка обеспечивается инжектором, движением более холодного загружаемого осадка сверху вниз и за счет выделения пузырьков газа, обеспечивающих движение частиц осадка в противоположном направлении.

Типовые метантенки с коническими перекрытием и днищем имеют полезную вместимость 500—4000 м³ (табл. 4.34).

Секция метантенков состоит из четырех резервуаров, здания обслуживания, киоска газовых приборов и проходного туннеля (метантенки диаметром 12,5 м не имеют проходного туннеля).

Загрузка и выгрузка осадка в резервуары производится одновременно с помощью камер впуска и выпуска, установленных в изолированном помещении, которое относится к категории взрывоопасных. Разрез типового метантенка диаметром 17,5 м приведен на рис. 4.58.

За рубежом (в частности, в ГДР, Англии) получили распространение двухступенчатые метантенки. В первой ступени метантенка происходит интенсивное брожение органических веществ осадков, сопровождающееся бурным газовыделением и перемешиванием всей толщи осадка. Для второй ступени характерно затухание газовыделения, расслоение осадка с образованием слоя иловой воды. Вторая ступень, таким образом, выполняет функции уплотнителя.

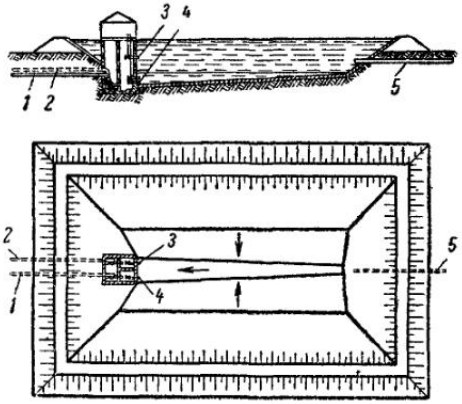


Рис. 4.59. Схема открытого метантенка второй ступени

1 и *2* — трубопроводы для отвода иловой воды и осадка; *3* и *4* — патрубки соответственно для выпуска осадка и иловой воды в приемную камеру, *5* — трубопровод для подачи осадка из метантенков второй ступени

Двухступенчатое сбраживание не имеет преимущества в степени распада беззольного вещества по сравнению с одноступенчатыми метантенками равного объема, но позволяет примерно вдвое уменьшить объем осадка за счет удаления иловой воды. Двухступенчатое сбраживание обеспечивает более устойчивый процесс в условиях неравномерного притока сточных вод на станцию.

При двухступенчатой схеме для метантенков первой ступени принимается мезофильный режим сбраживания. Вторая ступень обычно проектируется в виде открытых необогреваемых резервуаров, поэтому применение двухступенчатой схемы целесообразно в районах со среднегодовой температурой воздуха не ниже 6° С. Доза загрузки метантенков второй ступени принимается 3—4%.

Метантенки такого типа построены в Лейпциге и Дрездене.

Двухступенчатые метантенки представляют собой земляные резервуары, облицованные обычно бетоном или камнем. Глубина резервуаров при небольших их размерах 3—5 м, при больших 5—12 м; крутизна откосов соответственно 1 : 1,5 или 1 : 2. Осадок подается рассредоточенно на половину глубины, а выпуск уплотненного осадка производится с нескольких уровней и со дна.

Схема открытого метантенка второй ступени представлена на рис. 4.59.

Газовая сеть и газгольдеры

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).

Газопроводы рассчитывают по формуле Левина:

$$h = 3{,}8\,\frac{Q^{1{,}75}}{d^{4{,}75}}\,sl\cdot 10^{-3}, \qquad (4.116)$$

где h — потери напора в газопроводе на участке длины l, м;
Q — расход газа, м³/ч;
d — диаметр трубопровода, см;
s — отношение плотности газа к плотности воздуха, равное: $s = \rho/1{,}293$; здесь ρ — плотность газа, кг/м³ при 0° С и давлении 0,1 МПа (значения ρ колеблются от 0,94 до 1,17 кг/м³).

Газ метантенков по плотности близко подходит к смеси московского городского и саратовского газа, что позволяет пользоваться при расчетах всеми исходными данными для этого газа, вводя поправочный коэффициент $K_т$ на температуру:

$$K_T = (1 + 0{,}00366T)^{1{,}625};$$

при $T = 10°$ С этот коэффициент составляет 1,072.

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 уравновешивается противодавлением газа. Благодаря этому при изменении объема газа под колоколом давление в газгольдере и газовой сети остается постоянным.

Мокрые газгольдеры сооружаются по типовым проектам, разработанным в конструктивной части институтом Проектстальконструкция, а в остальных частях — Научно-исследовательским проектным институтом газовой промышленности.

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—0,6 м^3, для карбюраторных, бензиновых или керосиновых двигателей 0,45—0,65 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 искрообразования в камерах нужно работать инструментом из цветного металла. Перед спуском в камеру необходимо ее проветрить в течение 10—15 мин ручным вентилятором или компрессором Замерзшие участки газопроводов следует обогревать паром, горячим песком или горячей водой.

§ 101. 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 обусловливают 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 (табл. 4.35).

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 стабилиза-

Таблица 435

Расчетные параметры минерализатора в зависимости от пропускной способности станции аэрации

Показатель	Пропускная способность очистной станции, тыс. м³/сутки					
	25	35	50	70	100	140
Потребный объем, м³, при концентрации сухого вещества 15 г/л (время аэрации 7 суток) . .	1590 / 1540	2190 / 2150	3130 / 3040	4330 / 4300	6200 / 6050	8800 / 8600
Расчетная площадь, м², при рабочей глубине 4,4 м	360	500	710	980	1410	2000
Расход воздуха, м³/ч, при интенсивности аэрации 3 м³ на 1 м² поверхности	1080	1500	2130	2940	4230	6000

Примечание Над чертой приведен расчет для станций с радиальными отстойниками, под чертой — с горизонтальными

ции активного ила длится 7—10 суток. Для стабилизации смеси осадка и ила требуется 10—12 суток. Низкая скорость процесса требует большего расхода воздуха, составляющего по данным АКХ 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.

§ 102. 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 (рис. 4.60). 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 просачиваю-

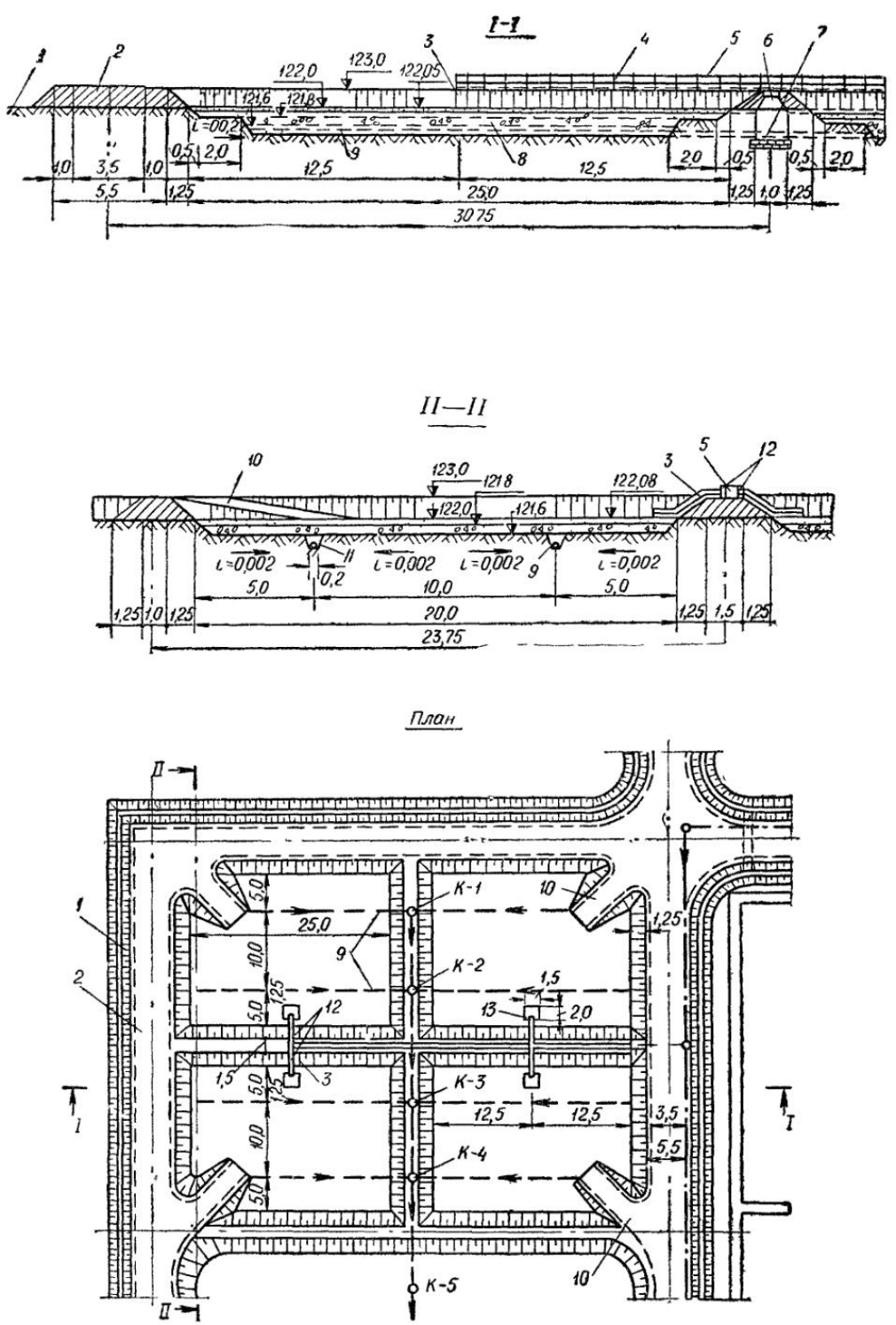


Рис. 4 60 Иловые площадки

1 — кювет оградительной канавы, *2* — дорога, *3* — сливной лоток; *4* — бруски, поддерживающие иловодящий лоток; *5* — иловодящий лоток, *6* — дренажный колодец; *7* — сборная дренажная труба, *8* — дренажчый слой, *9* — дренажные трубы, *10* — съезд на карту, *11* — дренажная канава, *12* — шиберы, *13* — деревянный щит под сливным лотком; *К-1*, *К-2*, *К-3*, *К-4* и *К-5* — колодцы

щиеся 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 рекомендуется принимать равным 6—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—40 м. Размеры карт следует назначать с учетом размещения осадка, выпускаемого за один раз при толщине слоя летом 0,25—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—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 в ближайшие колхозы и совхозы.

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 колхозные поля.

На средних и крупных станциях для сгребания осадка применяют скреперы и бульдозеры. Собранный в отвалы осадок нагружают в автомашины с помощью торфо- или навозопогрузчика, смонтированного на базе трактора ДТ-54, или многоковшового погрузчика. Последний является наиболее экономичным из применяемых механизмов — его производительность до 40 м³/ч.

В районах со среднегодовой температурой воздуха 3—6° С и среднегодовым количеством атмосферных осадков до 500 мм для очистных сооружений пропускной способностью более 10 000 м³/сутки рекомендуется устраивать иловые площадки с отстаиванием и поверхностным отводом иловой воды. На рис. 4.61 показаны иловые площадки такого типа, построенные на Курьяновской станции аэрации. Иловые площадки с поверхностным отводом иловой воды проектируются в виде нескольких (4 –7) самостоятельно работающих каскадов. Каждый каскад состоит из четырех—восьми ступенчато расположенных карт. Напуск осадка из подводящих трубопроводов предусмотрен на верхние карты. По мере накопления верхний слой иловой воды (или осадка) отводится на нижележащую карту через железобетонные перепуски-колодцы. Отстоявшаяся иловая вода с нижней карты каскада перекачивается в первичные отстойники очистной станции, так как содержание взвешенных веществ в ней может достигать 1,5—2 г/л. Объем отстоявшейся иловой воды составляет 30—50% объема обезвоживаемого осадка, влажность которого при этом снижается с 97 до 94—95%. Дальнейшее обезвоживание осадка протекает за счет испарения влаги с поверхности осадка.

Полезную площадь одной карты принимают равной 0,25—1 га при отношении ширины к длине 1 : 2—1 : 2,5.

Иловые площадки-уплотнители разработаны институтом Союзводоканалпроект совместно с кафедрой канализации ЛИСИ. Площадки состоят из прямоугольных резервуаров с водонепроницаемыми днищами и стенами. Стены сооружаются из сборных железобетонных унифицированных панелей высотой 2,4 м, днище монолитное. Рабочая глубина площадки 2 м.

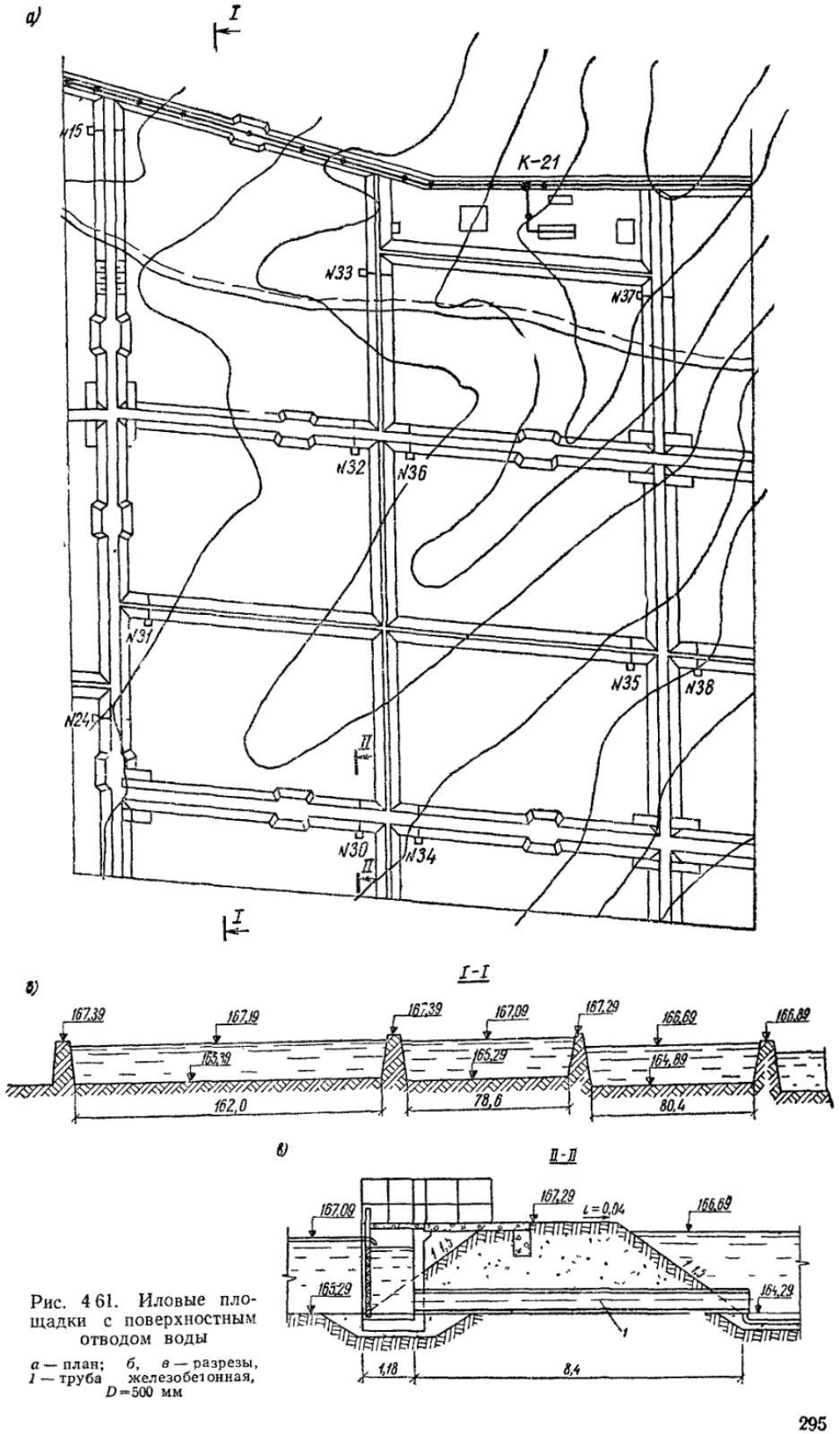


Рис. 4 61. Иловые площадки с поверхностным отводом воды

а — план; *б*, *в* — разрезы, *1* — труба железобетонная, D=500 мм

Если недостаточно места для устройства открытых иловых площадок, то иногда устраивают крытые иловые площадки по типу оранжерей, перекрывая их остекленными рамами. Такие площадки построены в Кисловодске. По опытным данным, годовая нагрузка на них составляет 9—10 м³/м² при подсушке осадков из метантенков.

Площадь иловых площадок зависит от объема осадка, характера грунта, на котором устраивают площадку, климатических условий, а также от структуры осадка.

Нагрузку осадка на иловые площадки в районах со среднегодовой температурой воздуха 3—6° С включительно и среднегодовым количеством атмосферных осадков до 500 мм следует принимать по табл. 4.36; для районов с другой среднегодовой температурой воздуха следует вводить соответствующие климатические коэффициенты.

Таблица 4.36

Нагрузка на иловые площадки с естественным основанием

Характеристика осадка	Годовая нагрузка в м³/м² на площадки	
	без дренажа	с дренажем
Несброженный осадок и активный ил . .	1	1,5
Сброженный осадок и активный ил . . .	1,5	2
Сброженный осадок из первичных и двухъярусных отстойников	2,5	3,5

При проектировании иловых площадок с поверхностным отводом иловой воды нагрузку принимают равной 1 м³/м² в год.

Иловые площадки-уплотнители рассчитывают по нагрузке q, которая зависит от рабочей глубины площадки и числа выгрузок в году, принимаемого в зависимости от свойств осадка и климатических условий от 1 до 5.

Суточный объем сброженного осадка $W_{сб}$, выпускаемого из двухъярусных отстойников, определяется с учетом уменьшения его объема за счет уплотнения и сбраживания по формуле

$$W_{сб} = \frac{V_{ос}}{ab}, \qquad (4.117)$$

где $V_{ос}$ — расход сырого осадка, определяемый по формуле (4.101);

a — коэффициент уменьшения объема ила за счет его распада при сбраживании, равный 2;

b — то же, за счет его уплотнения с 95- до 90%-ной влажности, равный 2.

Отсюда полезная площадь иловых площадок S, м², для ила из двухъярусных отстойников при годовой нагрузке осадка K, м³ на 1 м² поверхности будет:

$$S = \frac{V_{ос} \cdot 365}{abK}. \qquad (4.118)$$

Суточный объем ила из метантенков $V_{мет}$ без отделения иловой воды не изменяется против первоначального объема осадка из отстойников и составляет:

$$W_{мет} = V_{ос} + V_{ил}. \qquad (4.119)$$

Поэтому при определении площади иловых площадок для осадка из метантенков не учитывается уменьшение объема на уплотнение и сбраживание и площадь получается примерно в 2—3 раза большей, чем для осадка из двухъярусных отстойников.

Необходимо проверить достаточность полученной при расчете площади, учитывая намораживание осадка в зимнее время. Продолжительность периода, в течение которого происходит намораживание, определяется числом дней со среднесуточной температурой ниже —10° С. Часть влаги (25%) в зимнее время профильтровывается и испаряется. Под намораживание отводят 80% поверхности карт иловых площадок, а 20% оставляют для использования в период весеннего таяния.

Высота слоя намораживания $h_{нам}$ зависит от климатических условий (для средней полосы СССР она равна 0,5—1 м):

$$h_{нам} = \frac{Wtk_2}{Sk_1}, \qquad (4.120)$$

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).

§ 103. 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 (рис. 4.62), представляющие собой горизонтально расположенный барабан, боковая поверхность которого имеет перфорированную обечайку и обтянута сверху фильтровальной тканью. Обычно применяют капроновые ткани разных артикулов.

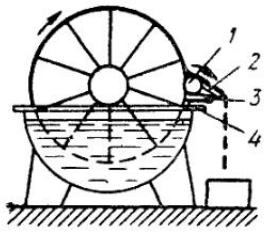


Рис 4 62. Схема вакуум-фильтра

1 — вращающийся ролик, *2* — нож; *3* — натяжной ролик; *4* — направляющий ролик

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

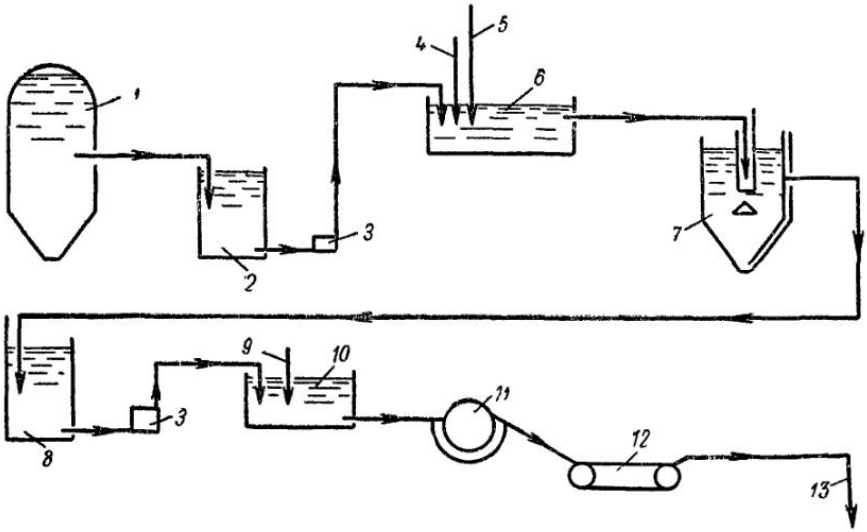


Рис. 4.63. Схема механического обезвоживания осадка

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

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 АКХ, удельное сопротивление осадков колеблется в широких пределах: для смеси осадка и ила, сброженной в мезофильных условиях, — от $520 \cdot 10^{10}$ до $9140 \cdot 10^{10}$ см/г, для термофильно сброженной смеси — от $3953 \cdot 10^{10}$ до $9500 \cdot 10^{10}$ см/г. Считается, что устойчивая работа вакуум-фильтров может быть обеспечена, если удельное сопротивление смеси не превышает $60 \cdot 10^{10}$ см/г.

Для снижения удельного сопротивления осадок перед обезвоживанием предварительно обрабатывают. Для сброженных осадков обычно применяют промывку с последующим уплотнением и обработку химическими реагентами. Схема механического обезвоживания сброженных осадков представлена на рис. 4.63.

Для промывки сброженного осадка используют очищенную сточную воду. Необходимый объем промывной воды p рассчитывают по формуле

$$p = \lg (r \cdot 10^{-10}) - 1{,}8, \qquad (4.121)$$

где r — удельное сопротивление осадка, см/г.

Если удельное сопротивление осадка неизвестно, p определяют по табл. 4.37.

Таблица 4.37

Основные параметры для расчета вакуум-фильтрационных установок

Характеристика обезвоживаемого осадка	Объем промывной воды, м³ на 1 м³ смеси	Доза реагентов, % сухого вещества		Пропускная способность вакуум-фильтра, кг сухого осадка на 1 м² площади поверхности фильтра в час	Влажность кека, %
		$FeCl_3$	CaO		
Сброженный осадок из первичных отстойников . . .	1—1,5	3—4	6—10	25—35	75—77
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка и активного ила .	2—3	4—6	10—15	20—25	78—80
Сброженная в термофильных условиях смесь осадка и активного ила	3—4	4—6	10—15	17—22	78—80
Сырой осадок из первичных отстойников	—	2—3,5	6—9	30—40	72—75
Смесь сырого осадка и уплотненного ила . . .	—	3—5	9—13	20—30	75—80
Уплотненный активный ил . . .	—	6—9	17—25	8—12	85—87

Осадок и промывная вода перемешиваются в течение 6—10 мин сжатым воздухом, подаваемым в смеситель из расчета 0,5 м³ на 1 м³ смеси. Далее смесь поступает в отстойник-уплотнитель, где находится 12—18 ч. Отстоявшаяся вода с концентрацией взвешенных веществ 500—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—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 $Ca(OH)_2$ в виде 10%-ного известкового молока. В присутствии $Ca(OH)_2$ гидролиз хлорида железа идет до конца и образуются хлопья $Fe(OH)_3$. Частицы 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.

В последние годы получил распространение способ механического обезвоживания сырого осадка без сбраживания его в метантенках. Этот

способ особенно целесообразен при ограниченной территории очистных сооружений.

Технологическая схема обезвоживания сырого осадка, рекомендуемая АКХ, приведена на рис. 4.64. Сырой осадок из первичных отстойников подается насосами в резервуар-регулятор расхода осадка, откуда в смеси с химическими реагентами поступает на вакуум-фильтр.

Благодаря лучшей водоотдаче сырого осадка по сравнению со сброженным предварительная его обработка ограничивается только последовательной добавкой реагентов.

При обезвоживании сырого осадка на барабанных вакуум-фильтрах происходит быстрое заиливание фильтровальной ткани, пропускная

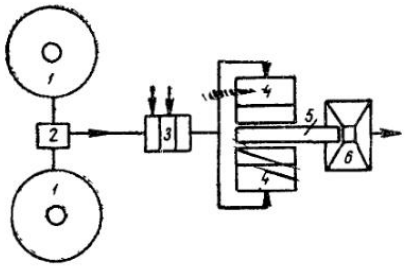


Рис 4 64 Технологическая схема обработки и обезвоживания сырого осадка

1 — отстойники, *2* — насосная станция перекачки осадка, *3* — резервуар — регулятор расхода осадка и химических реагентов, *4* — барабанные вакуум фильтры с непрерывной регенерацией фильтровальной ткани, *5* — конвейер для обезвоженного осадка, *6* — бункер

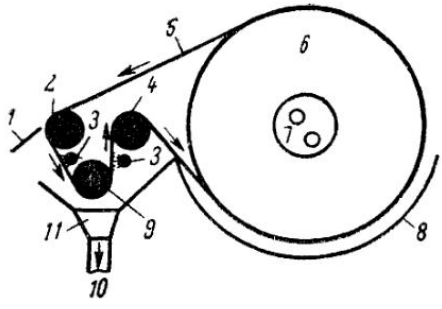


Рис 4 65 Схема вакуум-фильтра с непрерывной регенерацией фильтровальной ткани

1 — нож для съема кека, *2* — разгрузочный ролик, *3* — трубы с насадками для промывки ткани, *4* — возвратный ролик, *5* — фильтровальная ткань, *6* — барабан фильтра, *7* — распределительная головка, *8* — корыто фильтра, *9* — натяжной ролик, *10* — отвод промывной воды, *11* — желоб промывной воды

способность которой зачастую не поддается восстановлению даже с увеличением числа обычных промывок водой и ингибированной соляной кислотой (кислота с добавкой ингибитора ПБ для предотвращения коррозии металла). Поэтому вакуум-фильтры должны иметь более эффективные приспособления для восстановления фильтрующей способности ткани.

Принципиальная схема вакуум-фильтра с непрерывной регенерацией фильтровальной ткани приведена на рис. 4.65. Фильтровальная ткань при вращении барабана сходит на систему роликов *2*, *4* и *9*. При прохождении ее через разгрузочный ролик кек отделяется от ткани и снимается ножом. При этом происходит одновременная отдувка кека и очистка ткани сжатым воздухом, подающимся в разгрузочный (полый) ролик. При движении ткани от полого ролика к натяжному и возвратному роликам происходит промывка ее с обеих сторон водой и ингибированной соляной кислотой, подающейся под давлением из насадок. Натяжной и возвратный ролики самоустанавливающиеся, благодаря чему ткань на барабане всегда натянута должным образом.

Расчет вакуум-фильтрационных установок включает расчет сооружений по промывке и уплотнению осадка, расчет реагентного хозяйства, определение числа барабанных вакуум-фильтров, необходимых для обезвоживания имеющегося осадка. Расчет сводится к определению площади фильтрующей поверхности и ведется по пропускной способности вакуум-фильтров, которая зависит от вида обезвоживаемого осадка. Основные величины для расчета приведены в табл. 4.37.

Схемы, приведенные на рис. 4.63 и 4.64, нашли наибольшее применение для обезвоживания осадков. Однако им присущ ряд недостатков,

важнейшим из которых является сложность предварительной подготовки осадка к обезвоживанию. 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.

В ряде стран (Англия, Швейцария, ФРГ) получила распространение тепловая обработка осадка перед обезвоживанием.

Сущность метода состоит в прогревании осадков при температуре 140—200 °С и соответствующем давлении.

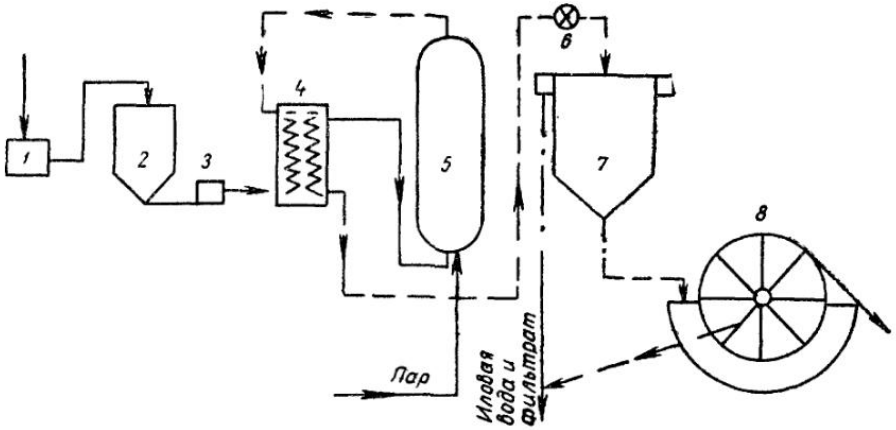


Рис. 4.66. Схема тепловой обработки и механического обезвоживания осадков городских сточных вод

1 — дробилка; *2* — резервуар дробленого осадка; *3* — насос; *4* — теплообменник; *5* — реактор; *6*—дросселирующее устройство; *7* — илоуплотнитель; *8* — вакуум-фильтр; — — — обработанный осадок, ——— обрабатываемый осадок

Схема тепловой обработки осадка представлена на рис. 4.66. 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—40 °С. После отстаивания в уплотнителе осадок без какой-либо дополнительной обработки обезвоживается на вакуум-фильтре.

В МИСИ им. В. В. Куйбышева проведены исследования метода тепловой обработки для определения технологических параметров процесса. Установлено, что температурный режим и продолжительность обработки зависят от характера обрабатываемого осадка. В частности, для уплотненного активного ила необходимо прогревание его при температуре 185—196 °С в течение 60—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 содержавшейся в осадке воды. Одним из существенных достоинств этого метода является полная стерильность обработанного осадка. Кроме того, при обезвоживании таких осадков на вакуум-фильтрах образуется кек 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 необходимо поэтому 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 на зарубежных очистных станциях для обезвоживания осадков широко применяют непрерывно действующие осадительные центрифуги.

Метод центрифугирования начинают использовать и в отечественной практике. Для обезвоживания осадков применяют горизонтальные осадительные центрифуги со шнековым устройством для выгрузки осадка

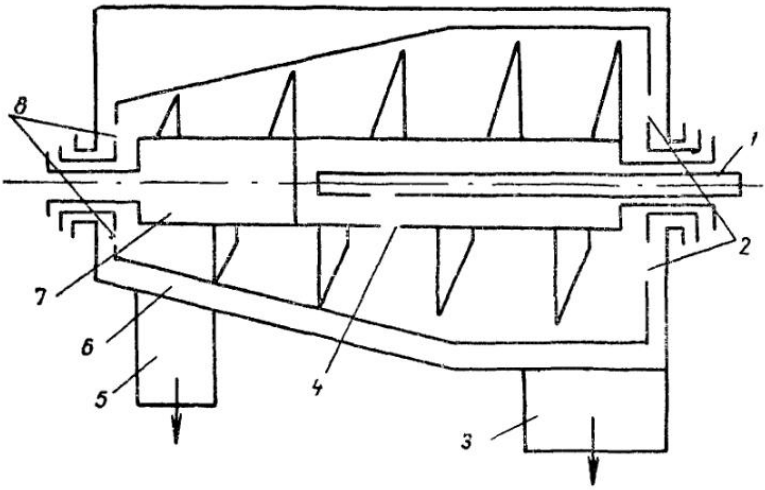


Рис. 4.67. Схема устройства центрифуги типа НОГШ

1 — труба для подачи осадка; *2* — отверстия для выгрузки фугата; *3* — бункер для выгрузки фугата; *4*—отверстие для поступления осадка в ротор; *5* — бункер для выгрузки кека; *6* — ротор, *7* — полый шнек; *8* — отверстия для выгрузки кека

типа НОГШ. Схема такой центрифуги показана на рис. 4.67. 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 выносится 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. Академией коммунального хозяйства 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. Эта схема заложена в проекты очистных станций ряда городов Московской области.

Фугат после центрифугирования сброженного осадка направляют на иловые площадки.

Пропускная способность серийно выпускаемых центрифуг НОГШ не превышает 13 м^3/ч по исходному осадку, поэтому они могут быть ре-

комендованы для применения на станциях с расходом сточных вод не более 40 000 м³/сутки.

Подбор центрифуг ведется по их пропускной способности по исходному осадку, указанной в паспорте, $П_{исх}$. Пропускная способность центрифуг по обезвоженному осадку $П_к$ рассчитывается по формуле

$$П_к = \frac{10П_{исх}(100 - W_{исх})\rho Э}{100 - W_к}, \qquad (4.122)$$

где $W_{исх}$ — влажность исходного осадка, %;
$W_к$ — влажность обезвоженного осадка, %;
ρ — плотность осадка, т/м³;
$Э$ — эффективность задержания сухого вещества осадка, %.

Значения $Э$ и $W_к$ приведены в табл. 4.38.

Таблица 4.38

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

На очистных станциях Швеции широкое применение нашли осадительные горизонтальные центрифуги фирмы «Альфа-Лаваль» (рис. 4.68). Пропускная способность центрифуг различных марок составляет от 4 до 13—20 м³/ч. Эффективность задержания твердой фазы значительно выше, чем при применении центрифуг НОГШ, и достигает 70—95%.

Высокая эффективность обеспечивается добавлением к обрабатываемому осадку высокомолекулярных полиэлектролитов. Для каждого вида осадков опытным путем подбирается соответствующий полиэлектролит. Обезвоженный осадок имеет влажность 65—75%.

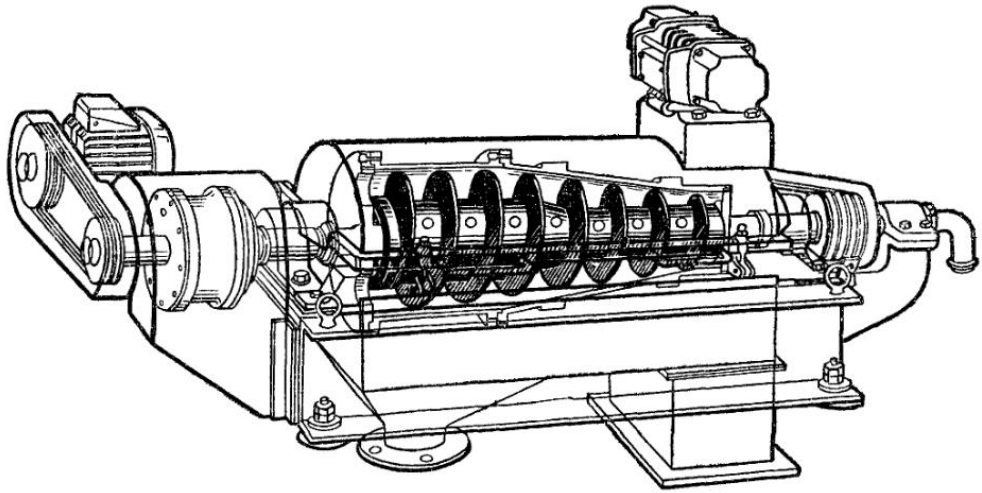


Рис. 4.68. Осадительная центрифуга фирмы «Альфа-Лаваль»

Установки фирмы «Альфа-Лаваль» для центрифугирования осадков монтируются стационарно (для крупных станций) или на автомобиле. Подвижная установка позволяет обслуживать несколько небольших станций.

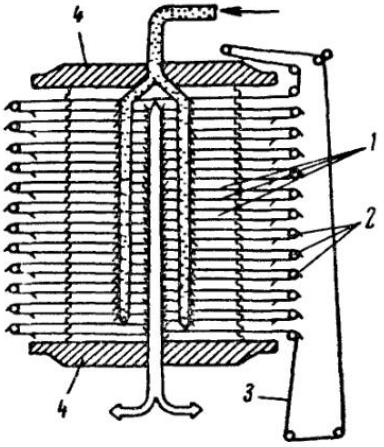


Рис. 4.69. Схема действия автоматизированного фильтрпресса с горизонтальными камерами (ФПАКМ)

1 — фильтровальные плиты; *2* — направляющие ролики; *3* — фильтровальная ткань; *4* — поддерживающие плиты

Фильтрпрессование. Отечественной промышленностью серийно выпускается автоматизированный фильтрпресс с горизонтальными камерами ФПАКМ, разработанный Укрниихиммашем. Схема действия этого пресса представлена на рис. 4.69. 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 (рис. 4.70) 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 частями фильтровальных плит расположены эластичные водонепроницаемые диафрагмы.

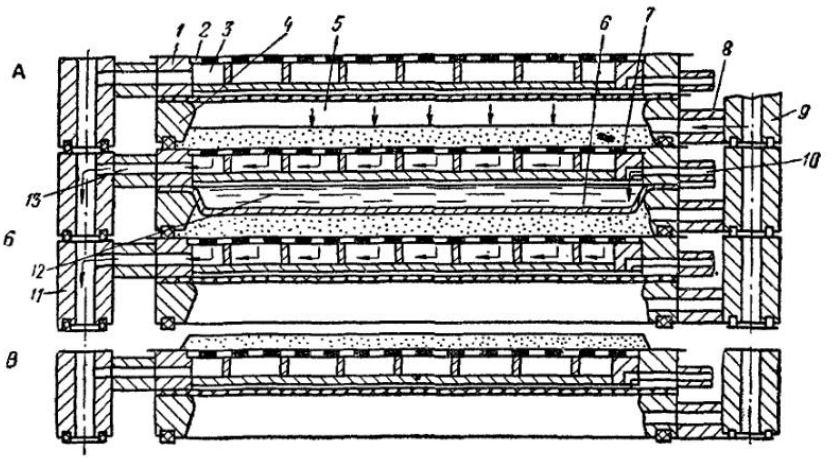


Рис. 4.70. Автоматизированный фильтрпресс с горизонтальными камерами (ФПАКМ)

1 — верхняя часть плиты; *2* — перфорированный лист; *3* — камера для приема фильтрата; *4* — нижняя часть плиты в виде рамы; *5* — камера для суспензии и осадка; *6* — эластичная водонепроницаемая диафрагма; *7* — фильтровальная ткань; *8, 10, 13* — каналы; *9* — коллектор для подачи суспензии; *11* — коллектор для отвода фильтрата и воздуха; *12* — полость для воды

В камеру *5* по коллектору *9* подается осадок и воздух (положение *А*). По каналам *13* фильтрат и воздух отводятся в коллектор *11*. Затем осадок отжимается диафрагмой, для чего в полость *12* нагнетается вода под давлением (положение *Б*). После этого плиты раздвигаются (положение *В*), фильтровальная ткань передвигается и кек снимается с нее

ножами. Ткань промывается и очищается в специальном устройстве.

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%, $Ca(OH)_2$—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.

За рубежом применяют фильтрпрессы и других типов.

§ 104. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОСАДКОВ

Термическая обработка позволяет в несколько раз снизить массу и объем осадка, получить сухой сыпучий продукт, полностью освобожденный от патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. Осадки

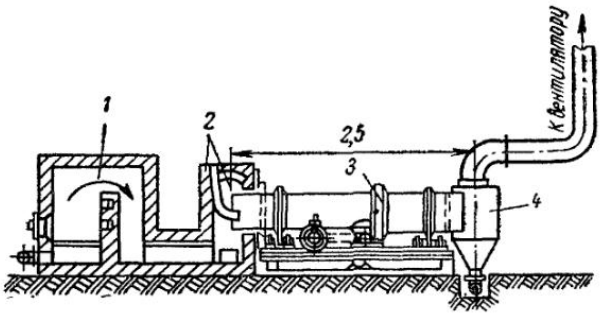


Рис. 4.71. Сушилка барабанного типа

1 — топка; *2* — загрузочная камера; *3* — барабан; *4*—выгрузочная камера

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 обезвоженных осадков городских очистных сооружений наибольшее распространение получили барабанные сушилки с прямоточным движением осадка и топочных газов.

На рис. 4.71 показана схема сушилки барабанного типа. 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—4°. Частота вращения барабана 1,5—9 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 бо́льшую 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.

Для расчета сушилок основной величиной является масса испаряемой влаги. Эта величина зависит от типа сушилки, материала, температуры и других факторов. По СНиП II-32-74 барабанную сушилку рекомендуется рассчитывать на испарение 60 кг/ч влаги на 1 м³ объема барабана при влажности обезвоженного осадка 78—80%, температуре топочных газов на входе 700—800° С, на выходе 100—200° С. Влажность высушенного осадка поддерживают в пределах 30—35%, так как более глубокая сушка приводит к значительному пылению осадка и осложняет его транспортирование.

Размеры барабана сушилок, выпускаемых отечественными заводами, приведены в табл. 4.39.

Таблица 4.39

Основные размеры барабанных сушилок

Завод-изготовитель	Диаметр барабана, м	Длина барабана, м
Завод «Прогресс», г. Бердичев	1	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.

Барабанные сушилки применяются и за рубежом. Например, на станции Лонг-Бич (Англия) барабанная сушилка установлена для окончательной сушки осадка после вакуум-фильтров. Барабан этой сушилки имеет длину 9,3 м и диаметр 1,87 м. Температура газов на входе в сушилку 538° С, на выходе—188° С.

Поступающий осадок имеет влажность 70%, а подсушенный—40%. Сухой осадок измельчается в дробилке и продается как удобрение, что окупает 60% расходов по станции.

На многих очистных станциях США применяют пневматические сушилки фирмы «Раймонд» (рис. 4.72). Обезвоженный осадок предварительно смешивают с термически высушенным и измельчают в сушильных мельницах. Осадок сушат в вертикальной трубе длиной до 20 м, по которой снизу вверх движется смесь топочных газов и взвешенных в их потоке частиц осадка. Высушенный осадок с влажностью до 10% отделяют от отходящих газов в циклоне и с помощью раздаточного узла либо расфасовывают для отправки потребителю, либо подают в печь, где его сжигают вместе с дополнительным топливом, в качестве которо-

го используют городской мусор, нефть, мазут. Туда же отсасывающим вентилятором подают запыленные отходящие газы. Часть обезвоженного осадка шнековым питателем подают в сушильную мельницу.

В последнее время широко применяются сушилки со взвешенным слоем. В зависимости от гидродинамического режима сушки различают аппараты с кипящим и фонтанирующим слоем.

Для сушки пастообразных материалов, к которым относится и обезвоженный осадок, наиболее перспективными являются сушилки с фонтанирующим слоем. Они представляют собой аппараты переменного по высоте сечения, цилиндро-конической или конической формы. Схема такой сушилки приведена на рис. 4.73. Влажный осадок из бункера с помощью питателя подается в сушильную камеру. Теплоноситель, посту-

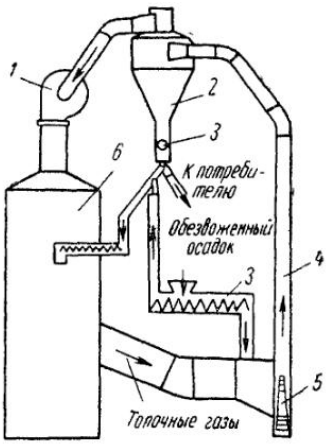


Рис. 4.72. Схема пневмосушилки фирмы «Раймонд»

1 — вентилятор отсасывающий; *2* — циклон; *3* — раздаточный узел; *4* — вертикальная труба; *5* — мельница; *6* — печь

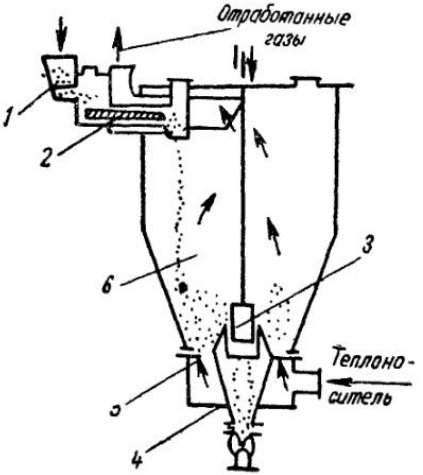


Рис. 4.73. Схема сушилки с фонтанирующим слоем

1 — бункер; *2* — питатель; *3* — переливной порог; *4* — разгрузочное устройство; *5* — решетка; *6* — сушильная камера

пающий в сушилку через газораспределительную решетку, подхватывает частицы влажного осадка, увлекает их за собой и фонтаном отбрасывает к стенкам камеры. Частицы осадка сползают по боковым поверхностям конуса к решетке, где вновь подхватываются потоком теплоносителя. Осадок таким образом циркулирует в сушильной камере. Высушенный осадок выгружается через разгрузочное устройство. Время обработки осадка можно изменять регулируя уровень выгрузки готового продукта с помощью переливного порога. Вместе с отработанным теплоносителем из сушилки выносится пылевидная часть осадка, которая улавливается в циклоне и подмешивается в загрузочном бункере к влажному осадку.

В исследованиях, проведенных на кафедре канализации МИСИ им. В. В. Куйбышева, опытная цилиндро-коническая сушилка с фонтанирующим слоем применялась для сушки осадков сточных вод фабрик первичной обработки шерсти. Эксперименты дали положительные результаты. Исследования показали также принципиальную возможность сушки осадков городских сточных вод в фонтанирующем слое.

По сравнению с другими типами сушилок и особенно барабанными сушилки с фонтанирующим слоем обладают рядом преимуществ: отсутствие движущихся частей, простота конструкции, возможность полной автоматизации процесса. Вследствие большой турбулентности фонтани-

рующего слоя происходит интенсивный тепло- и массообмен между твердыми частицами и газом. Интенсивное перемешивание частиц в слое приводит к быстрому выравниванию температур по всему объему сушилки. Это устраняет возможность перегрева высушиваемого материала, даже при использовании высокотемпературного теплоносителя, и приводит к значительному снижению расхода топочных газов и увеличению коэффициента полезного действия сушилки.

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, по данным АКХ, при сушке уплотненного активного ила не превышало 9,7 кг/м^3.

Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова проведены исследования по сушке уплотненного активного ила в сушилках с кипящим слоем инертного носителя. В качестве последнего могут быть использованы кварцевый песок, стеклянные шарики, фторопластовая крошка, а также гранулы высушенного материала. Схема такой сушилки представлена на рис. 4.74. Инертный носитель загружается на газораспределительную опорную решетку, через которую в сушилку подается газ-теплоноситель. При определенной скорости газового потока частички инертного материала переходят во взвешенное состояние. Такой взвешенный и расширенный слой инертного носителя напоминает кипящую жидкость, отчего и называется кипящим или псевдоожиженным. Активный ил, подлежащий сушке, с помощью форсунки вводится в слой инертного материала и, попадая на поверхность его частиц, быстро высушивается. Вместе с потоком отработанного теплоносителя высушенный продукт выносится из сушилки в циклон, где происходит их разделение. Напряжение сушильной камеры по испаряемой влаге (по данным АКХ) при сушке активного ила с влажностью 97,4—98% составляет 600—960 кг/(м^3·ч) при температуре теплоносителя на входе 160—250° С.

В комбинированной сушилке-грануляторе типа РКСГ, разработанной Научно-исследовательским институтом удобрений и инсектофунгицидов, совмещены принципы распыления и кипящего слоя. На первом этапе идет интенсивная сушка суспензий в распылительной части сушилки, затем влажный материал досушивается и гранулируется в кипящем слое. Получение высушенного продукта в виде гранул уменьшает пыление.

Опытные образцы таких сушилок испытывали в АКХ и Мосводоканалниипроекте. Получены положительные результаты.

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.

Принципиальная схема многоподовой печи приведена на рис. 4.75. 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 радиальные 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.

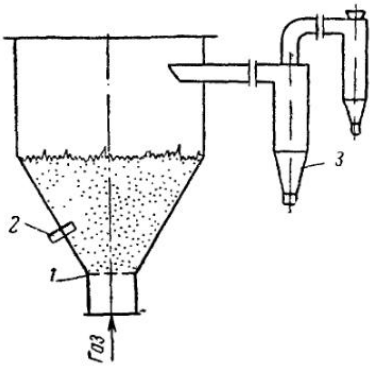


Рис. 4.74. Схема сушилки с кипящим слоем инертного носителя

1 — газораспределительная опорная решетка; *2* — форсунка; *3* — циклон

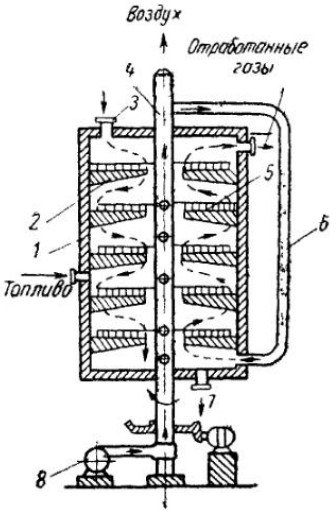


Рис. 4.75. Схема многоподовой печи для сжигания осадка

1 — корпус печи; *2* — огнеупорный под; *3* — загрузочное устройство; *4* — вращающийся вал; *5* — скребковые мешалки; *6*—рециркуляционный трубопровод; *7* — выгрузочное отверстие; *8* — воздуходувка

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.

Принципиальная схема установки для сжигания осадка в реакторе с кипящим слоем приведена на рис. 4.76. Обезвоженный осадок шнековым питателем подается в кипящий слой инертного носителя — силикатного песка. Псевдоожиженный слой образуется при продувании через слой песка горячего воздуха. Сжигание ведется при небольшом (10—20%) избытке воздуха. При пуске установки и сжигании малокалорийных осадков в реактор подают газообразное топливо. В кипящем слое при температуре около 750° С происходит интенсивное перемеши-

вание осадка и песка. Частицы осадка измельчаются за счет соударения и взаимного трения с частицами инертного носителя. Происходит прогрев осадка, испарение влаги, сгорание горючих компонентов.

В отличие от многоподовых печей в реакторе с кипящим слоем не предусмотрены устройства для удаления золы. Образовавшаяся зола, состоящая из пылевидных частиц, выносится из реактора потоком газов и улавливается в мокром скруббере. Принимается такая скорость газового потока, которая обеспечивает вынос только легкой фракции золы; более тяжелые частицы остаются в реакторе до тех пор, пока не будут достаточно измельчены.

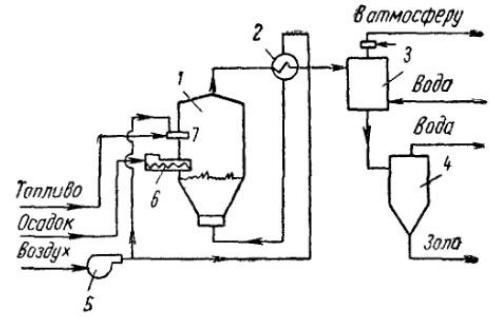


Рис 4 76 Схема установки для сжигания осадков сточных вод в кипящем слое

1 — реактор с кипящим слоем, *2*—теплообменник, *3* — мокрый скруббер, *4* — гидроциклон; *5* — дутьевой вентилятор, *6* — загрузочное устройство — шнековый питатель; *7* — пусковая форсунка

Реакторы с кипящим слоем находят все более широкое применение для сжигания различных осадков. Обеспечивая высокую эффективность процесса, эти установки отличаются компактностью и простотой эксплуатации. Их достоинством является также возможность полной автоматизации процесса.

§ 105. ПЕРЕКАЧКА ОСАДКА

В ряде случаев возникает необходимость передавать сброженный или сырой осадок до его обезвоживания на довольно большое расстояние от очистной станции. Перекачивают его по напорным трубопроводам, так как этот способ транспортирования является наиболее дешевым и гигиеничным.

Ил представляет собой структурную двухфазную жидкость; гидравлический режим движения ее по трубам может отличаться от режима движения чистой или сточной воды. Наиболее важными характеристиками движения ила в трубах являются крупность частиц, влажность, зольность, температура и вязко-пластичные свойства.

Осадки сточных вод, как и некоторые другие массы (торфяная гидромасса, меловые суспензии, угольная гидромасса, строительные растворы и т. п.), относятся к структурным или пластичным телам. Они занимают промежуточное положение между вязким и упругим телом.

Течение осадков сточных вод подчиняется закону Шведова — Бингама

$$\tau = \eta dv/dr + \tau_0,$$

где τ — касательное напряжение;
η — коэффициент вязкости;
v — средняя скорость течения;
r — внутренний радиус трубы;
τ_0 — динамическое сопротивление сдвигу.

Вязкость и динамическое сопротивление сдвигу осадка сточных вод зависят от его влажности (рис. 4.77).

При малых скоростях движения осадков сточных вод в трубах потери напора значительно превышают потери напора при движении одно-

родных жидкостей, при больших скоростях эти потери близки по величине.

Для оценки характера и закономерностей течения вязкопластичных жидкостей, таких как глинистые растворы, меловые суспензии, торфяная гидромасса, осадки сточных вод и др., пользуются критериями подобия.



Рис. 4.77. Зависимость вязкости и динамического сопротивления сдвигу осадка от его влажности (по данным Ю. М. Ласкова)

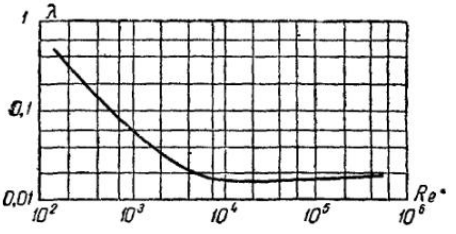


Рис. 4.78. Зависимость коэффициента сопротивления λ от обобщенного критерия Рейнольдса Re*

Обобщенный критерий подобия течения вязко-пластичных жидкостей записывается в следующем виде:

$$Re^* = \frac{1}{\frac{\eta}{\rho v d} + \frac{1}{6} \cdot \frac{\tau_0}{\rho v^2}}, \qquad (4.123)$$

где Re^* — обобщенный критерий Рейнольдса;

ρ — плотность массы;

v — скорость движения массы;

d — диаметр трубопровода.

Заметим, что при $\tau_0 = 0$ критерий Re^* переходит в обычный критерий Re.

На рис. 4.78 приведена зависимость коэффициента сопротивления трения λ от обобщенного критерия Рейнольдса Re^*. Из этого графика следует:

1) при движении осадков в трубах наблюдаются два режима — структурный и турбулентный; переход от структурного режима к турбулентному происходит при $Re^*_{кр} = 2000...5000$;

2) при структурном режиме коэффициент λ может определяться по формуле

$$\lambda = 64/Re^*;$$

3) при турбулентном режиме коэффициент λ практически не зависит от величны Re^*; потери напора при движении осадков и однородных жидкостей практически одинаковы и коэффициент λ может быть определен по любой квадратичной формуле, используемой при расчете канализационной сети.

Для определения потерь напора $h_п$ в илопроводе при любом режиме течения следует пользоваться формулой Дарси — Вейсбаха:

$$h_п = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

где λ — коэффициент сопротивления трения по длине, определяемый для различных режимов течения по-разному;

l — длина илопровода;

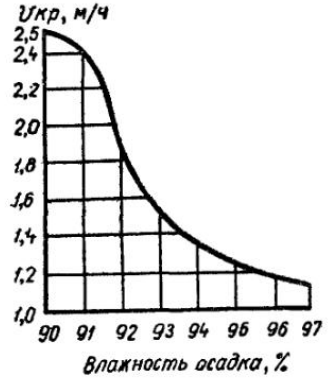
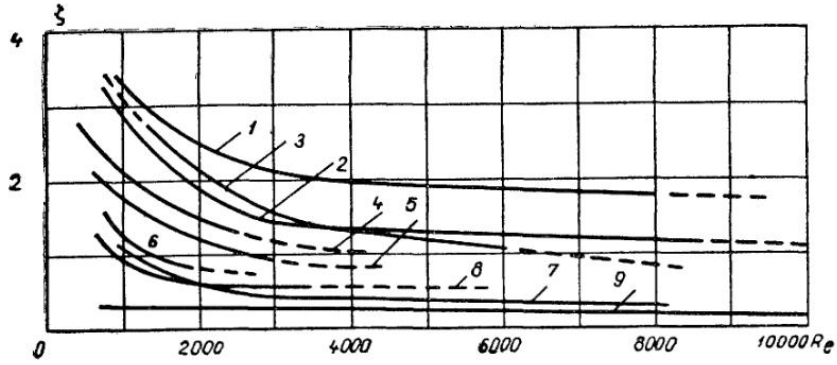


Рис. 4.79. Зависимость критической скорости от влажности осадка

Рис. 4.80. Зависимость коэффициента местных сопротивлений ζ от обобщенного критерия Рейнольдса Re^* (по данным Ю. М. Ласкова)

1 и *4* — для крестовин на повороте при диаметре труб соответственно 100 и 150 мм; *2*, *7* и *8* — для колен при диаметре труб соответственно 100, 200 и 150 мм; *3* и *5* — для тройников при повороте для диаметров труб соответственно 100 и 150 мм; *6* — для перехода d=150 мм; *9* — для тройника при переходе d=100 мм



b — диаметр илопровода;

v — скорость движения осадка в трубе.

Значения $Re^*_{кр}$ и $v_{кр}$ зависят от материала труб или абсолютной шероховатости k_1. Для илопроводов из стальных и асбестоцементных труб k_1 следует принимать равной 0,15 мм, а из чугунных труб — 1,5 мм.

Значения критической скорости $v_{кр}$ для илопроводов из новых стальных труб d=100...400 мм приведены на рис. 4.79.

Потери напора в фасонных частях, установленных на илопроводах, следует определять по рис. 4.80.

Глава XIX

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

§ 106. 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 взвешен-

ные 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 анаэробиоза, где окисление органических веществ, проникающих сюда в виде растворов, происходит только за счет процесса денитрификации, так как в зону анаэробиоза 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.

В России первые поля орошения были устроены в Одессе (1887 г.), затем в Киеве (1894 г.) и, наконец, в Москве (1898 г.). 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.

В условиях социалистического хозяйства при отсутствии частной собственности на землю применение полей орошения может содействовать комплексному решению проблемы благоустройства городов и развития пригородного сельского хозяйства как базы снабжения населения овощами. Поэтому 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 и б) селькохозяйственную — 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 (колхозных и совхозных) 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—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—60% общего числа бактерий вместе с крупными взвешенными веществами в осадок; таким образом, отстоенная сточная вода в бактериальном отношении менее опасна. Путем искусственной биологической очистки сточных вод можно снизить число бактерий на 90—95%; санитарная опасность при орошении такой водой практически 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 пре-

вышать 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.).

§ 107. КОММУНАЛЬНЫЕ ПОЛЯ ОРОШЕНИЯ И ПОЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ

Поля орошения коммунального типа и поля фильтрации состоят из карт, спланированных горизонтально или с незначительным уклоном и разделенных земляными оградительными валиками. Сточная вода распределяется по картам оросительной сетью; очищенная вода, профильтровавшаяся через слой почвы, отводится осушительной сетью.

Для полей следует выбирать участки со спокойным рельефом местности. Естественный уклон на этих участках не должен превышать 0.02. Низинные и затопляемые весенними водами территории мало пригодны для организации полей. Поля не устраивают на землях, расположенных близко от мест выклинивания водоносных горизонтов.

Поля орошения и поля фильтрации рекомендуется располагать вниз по течению грунтовых вод от водозаборных сооружений на расстоянии не менее 200 м для легких суглинков, 300 м для супесей и 500 м для песков.

По отношению к населенным пунктам поля рекомендуется располагать с подветренной стороны с разрывами, размер которых зависит от типа полей и объема сточных вод. Для полей фильтрации разрывы (защитные зоны) установлены:

при расходе сточных вод до 5000 м³/сутки	300 м
» » » » от 5000 до 50 000 м³/сутки . . .	500 »
» » » » свыше 50 000 м³/сутки	1000 »

Для полей орошения защитные зоны соответственно уменьшают на 100 м.

По контуру полей обычно высаживают иву и другие влаголюбивые деревья. Ширину полосы насаждений принимают равной 10—20 м в зависимости от удаленности полей от населенных пунктов.

Лучшими для устройства полей являются песчаные и супесчаные грунты; поля можно устраивать на суглинистых и черноземных почвах, однако нагрузку на них сточных вод при этом снижают. Тяжелые суглинки и глины не пригодны для устройства полей, так как они заболачиваются. Торфяные грунты нуждаются в предварительном осушении.

Уровень грунтовых вод на территории, используемой под поля, должен быть на глубине не менее 1,5 м от поверхности. При более высоком положении уровня грунтовых вод необходимо устройство дренажа.

Расходуемый в процессе минерализации органических веществ кислород пополняется в основном из воздуха. Естественный обмен последнего в толще орошаемой почвы обеспечивается при периодическом выпуске на нее сточных вод.

Для полей фильтрации межполивной период колеблется от 5 до 10 дней; для полей орошения он устанавливается в соответствии с режимом полива выращиваемых культур.

Во избежание быстрого заиливания пор грунта и прекращения доступа воздуха в почву очищаемые сточные воды не должны иметь большого содержания жиров и масел, что достигается отстаиванием.

При определении требуемой площади полей орошения и полей фильтрации исходят из так называемой нормы нагрузки, т. е. объема сточной воды, которая может быть очищена на 1 га площади полей за определенный промежуток времени.

Нормы нагрузки зависят от многих факторов: от характера почвы, ее окислительной мощности, фильтрационной способности, пористости; от типа полей, рода выращиваемых на них культур, характера и кон-

Таблица 4.40

Нормы нагрузки осветленных бытовых сточных вод на коммунальные поля орошения для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 300—500 мм

Среднегодовая температура воздуха, °С	Сельскохозяйственные культуры	Нагрузка на поля орошения, м³/(га·сутки), в зависимости от грунта			
		тощая глина	суглинок	супесь	песок
До 3,5	Огородные . . .	20	30	40	60
	Полевые	10	15	20	30
3,6—6	Огородные . . .	25	35	50	75
	Полевые	15	20	25	40
6,1—9,5	Огородные . . .	35	45	60	80
	Полевые	20	25	30	40
9,6—11	Огородные . . .	50	60	70	85
	Полевые	25	30	35	45
11,1—15	Огородные . . .	60	70	80	90
	Полевые	30	35	40	45

Примечание. Для районов со среднегодовым количеством атмосферных осадков 500—700 мм нормы нагрузки на поля орошения следует уменьшать на 10—15%, а для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков более 700 мм — на 15—25%, причем больший процент принимают при суглинистых грунтах, а меньший — при песчаных.

центрации загрязнений сточных вод; от климатических и метеорологических условий и пр. (табл. 4.40).

В первую очередь норма нагрузки зависит от водовоздушного режима полей. Оптимальная для роста растений влажность почвы составляет 40—60% ее пористости (скважности), т. е. когда примерно половина пустот в почве занята водой и половина — воздухом. Запасы воды в почве достаточно велики. Так, например, при пористости почвы 30% и оптимальной ее влажности 50% содержание воды в слое песчаного грунта 1 м составит 1500 м³/га.

При норме нагрузки 100 м³/(га·сутки) поступившая суточная порция сточных вод составит только 6—7%, имеющегося в почве запаса воды, и будет вытеснять соответствующий объем почвенной воды в осушительную систему.

Таким образом, с момента поступления на поля до момента выхода в дренаж каждая порция сточных вод будет соприкасаться с грунтом в течение примерно 6—12 суток, если даже не учитывать испарение и транспирацию. Этим объясняется высокий эффект очистки сточных вод, который достигается на полях орошения и полях фильтрации.

Большое значение имеет также концентрация сточной воды, характеризуемая БПК: чем больше БПК, тем меньше допустимая норма нагрузки.

При определении требуемой площади полей орошения необходимо различать следующие виды норм нагрузок (в м³/га): 1) среднесуточная норма — объем сточных вод, приходящийся на 1 га орошаемой площади полей в среднем за сутки в течение определенного периода; обычно принято указывать среднесуточную норму за год; 2) оросительная норма — объем воды, который требуется для выращивания данной культуры за весь вегетационный период; 3) поливная норма — объем воды, который подается за один полив; 4) удобрительная норма — объем воды, который требуется для выращиваемой культуры исходя из удобрительных свойств сточной воды; 5) норма зимнего орошения.

Таким образом, поливная норма нагрузки на поля орошения может быть установлена только с полным учетом климатических, гидрогеоло-

Таблица 4.41

Оросительные нормы на коммунальные поля орошения для подмосковных условий (на супесях) по данным П. С. Севостьянова и А. А. Кухаренко

Выращиваемая культура	Оросительная норма, м³/га, с 20—25 мая по 1—10 сентября
Капуста ранняя и цветная	2500—6300
» поздняя	5000—7000
Помидоры	4000—4500
Свекла столовая	3000—6500
» кормовая	5000—9000
Картофель	1800—2500
Луговые травы	5000—10 000 и более

гических и агротехнических факторов. Санитарно-гигиенические требования во всех случаях являются руководящими.

Потребность выращиваемых культур в удобрениях и влаге обусловливает оросительные и удобрительные нормы (табл. 4.41).

Исходными данными при установлении удобрительных норм служат потребность выращиваемых культур в удобрительных веществах и концентрация этих веществ в сточной воде. Последняя зависит от нормы водоотведения.

Из всей массы удобрительных веществ, внесенных со сточными водами, растениями используется только их часть, а именно: 49% азота, 37% фосфора и 90% калия. Остальная часть питательных веществ выносится вместе с дренажной водой, а азот частично улетучивается в атмосферу.

Из сказанного следует, что при оросительных нормах 2500—8000 м³/га содержания фосфора и в особенности калия, вносимых в почву со сточной водой, будет недостаточно. Увеличение же оросительных норм не всегда возможно вследствие ограниченной фильтрационной способности

Таблица 4.42

Нормы нагрузки осветленных сточных вод на поля фильтрации для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 300—500 мм

Грунт	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка на поля фильтрации, м³/(га · сутки), при глубине уровня грунтовых вод, м		
		1,5	2	3
Легкий суглинок	До 3,5	50	55	60
	3,5—6	65	70	75
	6—11	70	75	85
	11—15	80	85	100
Супесь	До 3,5	80	85	100
	3,5—6	90	100	120
	6—11	100	110	130
	11—15	120	130	150
Песок	До 3,5	120	140	180
	3,5—6	150	175	225
	6—11	160	190	235
	11—15	180	210	250

Примечания: 1. Для районов со среднегодовой высотой слоя атмосферных осадков 500—700 мм нормы нагрузки на поля фильтрации следует уменьшать на 15—25%, а для районов со среднегодовой высотой слоя более 700 мм — на 25—35%, причем больший процент снижения нагрузки принимают при суглинистых грунтах, а меньший — при песчаных.

2. Нормы нагрузок при глинистых и прочих грунтах, не приведенные в таблице, следует принимать по данным эксплуатации полей, работающих в аналогичных условиях.

грунтов. Концентрация удобрительных веществ понижается при увеличении нормы водоотведения и при поступлении производственных стоков.

При определении требуемой площади полей фильтрации учитывают фильтрационную способность грунтов на территории полей и климатические условия района их расположения.

По данным многолетней эксплуатации, необходимый санитарный эффект очистки сточных вод достигается при среднесуточных нормах нагрузки, приведенных в табл. 4.42.

Окислительная мощность почвы еще недостаточно изучена и не может быть использована для расчета.

Определение размеров полей орошения и полей фильтрации

Общая площадь, требуемая для устройства полей орошения и полей фильтрации, слагается 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

$$\omega = \omega_{пол} + \omega_р + k(\omega_{пол} + \omega_р), \qquad (4.124)$$

где $\omega_{пол}$ — полезная площадь полей;

$\omega_р$ — резервная площадь полей;

k — коэффициент, учитывающий увеличение площади за счет устройства вспомогательных сооружений и равный 0,15—0,25.

При резко выраженном рельефе территории полей (уклоны 0,02—0,06), когда соседние карты имеют различные отметки, дополнительная площадь может возрасти до 50% полезной.

Полезную площадь находят по формуле

$$\omega_{пол} = Q/q_о, \qquad (4.125)$$

где Q — расход сточных вод, м³/сутки;

$q_о$ — нагрузка сточных вод на поля орошения, м³/(га·сутки).

В некоторые периоды года выпуск на поля орошения сточной воды не допускается. Например, в весенний период, когда большинство участков полей орошения подготовляют 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° С принимают $a=1$; до 10° С — $a=0{,}75$; до 15° С — $a=0{,}5$.

Таким образом, необходимая площадь резервных полей фильтрации может быть выражена уравнением

$$\omega_р = aQ/q_ф = a\omega_{пол}\, q_о/q_ф, \qquad (4.126)$$

где Q — расход очищаемой сточной воды, м³/сутки;

$\omega_{пол}$ — полезная площадь полей, га;

$q_о$ — расчетная норма нагрузки на поля, м³/(га·сутки);
$q_ф$ — расчетная норма нагрузки на резервные фильтрационные участки полей, м³/(га·сутки).

При $q_о/q_ф=0{,}3$ и $a=0{,}5$ резервная площадь составляет 15% полезной площади полей орошения, а при $q_о/q_ф=0{,}5$ и $a=1$ 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

$$\omega_з=\frac{Qt_{нам}(1-\beta)}{(h_{нам}-h_о)\rho}, \qquad (4.127)$$

откуда высота слоя намораживания

$$h_{нам}=\frac{Qt_{нам}(1-\beta)}{\omega_з\rho}+h_о, \qquad (4.128)$$

где Q — расход сточной воды, м³/сутки;
$t_{нам}$ — продолжительность намораживания, дни;
$h_о$ — 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—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 бóльшую 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 канавы 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. Наиболее полно это учитывается при расчете полей по сезонным периодам орошения или по оросительным нормам.

Зная, какую часть площади полей предполагается использовать под те или иные виды культур, и оросительные нормы для этих культур, можно определить среднюю оросительную норму $Q_{ср}$ для полей орошения в целом:

$$Q_{ср} = n_1 Q_1 + n_2 Q_2 + \cdots + n_n Q_n, \tag{4.129}$$

где $n_1, n_2, \ldots, n_n$ — площадь, используемая под данный вид культуры, доли общей площади полей;

$Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ — оросительные нормы полива, м³/га, за сезон, соответствующий данным культурам.

Если поля должны принять в сутки Q, м³, сточных вод, то за вегетационный период $t_{вег}$, сутки, на них поступит $Qt_{вег}$ воды. При средней оросительной норме $Q_{ср}$ этим объемом воды можно оросить

$$\omega_{пол} = Qt_{вег}/Q_{ср}. \tag{4.130}$$

Поля орошения должны быть рассчитаны также на зимнее намораживание. В зимнее время на некоторую часть полей орошения напуск сточной воды не производится. Если принять, что эта часть составляет m% всей их площади, то для зимнего намораживания может быть использована площадь

$$\omega_з = (1 - m)\,\omega_{пол}. \tag{4.131}$$

Высота слоя намораживания на эту часть полей определяется уравнением (4.128).

Если для проектируемых полей известен характер выращиваемых культур, то исходя из сроков полива могут быть определены режим и нормы полива полей по месяцам, неделям и даже дням (по аналогии с имеющимися полями в данном районе), а определение размеров полей может быть произведено по так называемому поливному графику. Для составления поливного графика необходимо в каждом отдельном случае привлекать опытного агронома.

Для расчета достаточно составить график полива по месяцам. Предположим, что полезная площадь полей равна $\omega_{пол}$, га. Если под какой-либо культурой занята часть площади n_1 и в данный месяц для нее подается m_1, м³/га, сточных вод, то месячный расход на всю площадь, занятую данной культурой, составит:

$$Q_1 = m_1 n_1 \omega_{пол} = k_1 \omega_{пол}. \tag{4.132}$$

Для следующей культуры соответственно получим:

$$Q_2 = m_2 n_2 \omega_{пол} = k_2 \omega_{пол}, \tag{4.132а}$$

откуда

$$Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n = (k_1 + k_2 + \cdots + k_n)\,\omega_{пол}.$$

Здесь принято, что $m_1 n_1 = k_1$; $m_2 n_2 = k_2$ и т. д.

Учитывая, что $Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = Q_{мес}$ (месячному объему сточных вод), и обозначая сумму $k_1 + k_2 + \ldots + k_n$ через k, получим:

$$Q_{мес} = k\omega_{пол}. \tag{4.133}$$

Если принять, что $\omega_{пол} = 1$ га, то значение k будет равно объему сточных вод, поступающих в данный месяц на всю площадь такого «единичного» поля. Поэтому, не зная площади полей, по известному режиму полива можно построить поливной график, а затем определить необходимую площадь полей исходя из общего месячного объема сточных вод

(который должен быть полностью израсходован на полив) и максимального значения коэффициента k.

Потребная площадь полей

$$\omega_{пол} = Q_{мес}/k_{макс} = Q_{сут} \cdot 30/k_{макс}, \qquad (4.134)$$

где $Q_{мес}$ — максимальный месячный расход сточной воды на полив (обычно в июле или июне) или месячный приток сточных вод в канализацию;

$Q_{сут}$ — суточный приток сточных вод в канализацию;

$k_{макс}$ — максимальное значение коэффициента k, или максимальная подача сточных вод на 1 га полей (единичное поле).

В другие месяцы (с меньшей потребностью воды на полив) сточная вода, не размещенная на полях, направляется на резервные участки.

Распределение сточных вод по полям

Сточные воды на поля подают с помощью сети распределительных каналов. Профильтровавшуюся очищенную сточную воду, если это требуется по грунтовым условиям, отводят осушительной (дренажной)

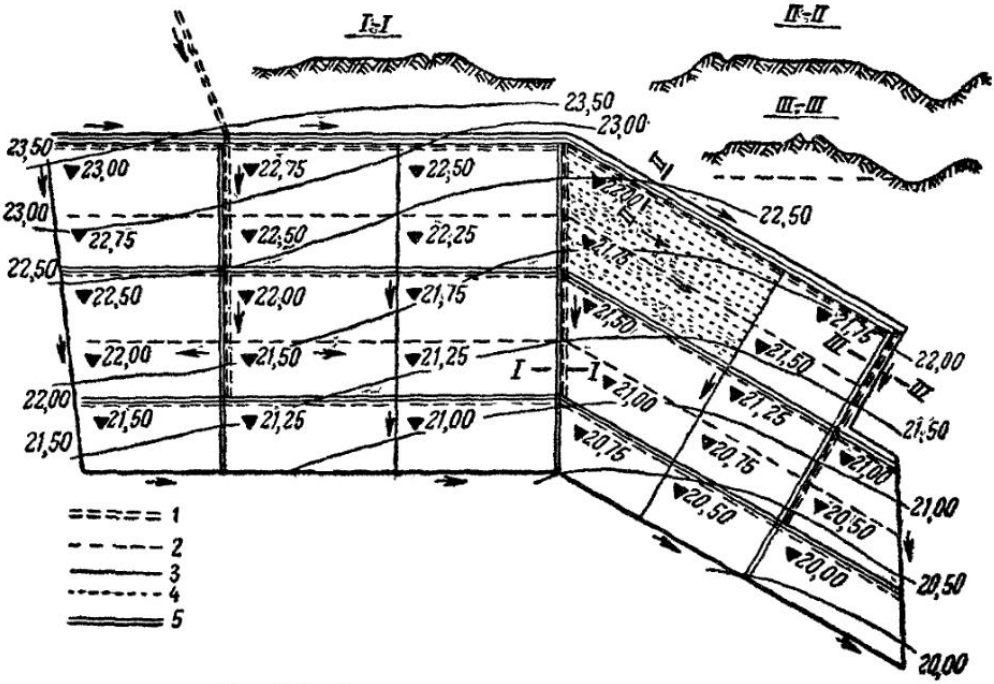


Рис. 4 81. Схема коммунальных полей орошения

1 — магистральные и распределительные каналы; *2* — картовые оросители; *3* — осушительные канавы; *4* — дренаж; *5* — дороги

сетью. Для удобства эксплуатации поля разделяют валиками на отдельные карты (рис. 4.81).

Размер карт зависит от назначения полей и ряда других условий (рельефа местности, характера грунтов, общей площади полей, обеспечения условий для механизации работ на картах и т. д.). На коммунальных полях орошения карты имеют площадь 5—8 га с соотношением сторон прямоугольника 1 : 5—1 : 4. Площади карт полей фильтрации, имеющих большие нагрузки, принимают меньшими. Размеры карт для малых полей определяют из условия, чтобы общее число карт было не менее трех. Для возможности механизации обработки земли длину карт

принимают равной 300—1500 м; излишнее удлинение карт приводит к удорожанию разводящей картовой сети. Ширина карты также не может быть выше некоторого предела (100—200 м при двустороннем напуске), обусловливаемого рельефом местности, грунтовыми условиями и способом полива. Для легких грунтов ширину карт принимают меньше, чем для тяжелых.

При большой ширине карты труднее осуществлять равномерное их орошение. Обычно карта своей длинной стороной располагается вдоль горизонталей местности, поэтому при широких картах и крутом рельефе приходится выполнять больший объем земляных работ во время планировки полей. Разность отметок двух соседних карт (располагающихся террасами) у разделительного валика не должна быть больше 1 м во избежание просачивания воды через него и оползания откосов.

Сточная вода подается (под напором или самотеком) в наивысшую точку полей орошения или полей фильтрации, где обычно устраивается распре-

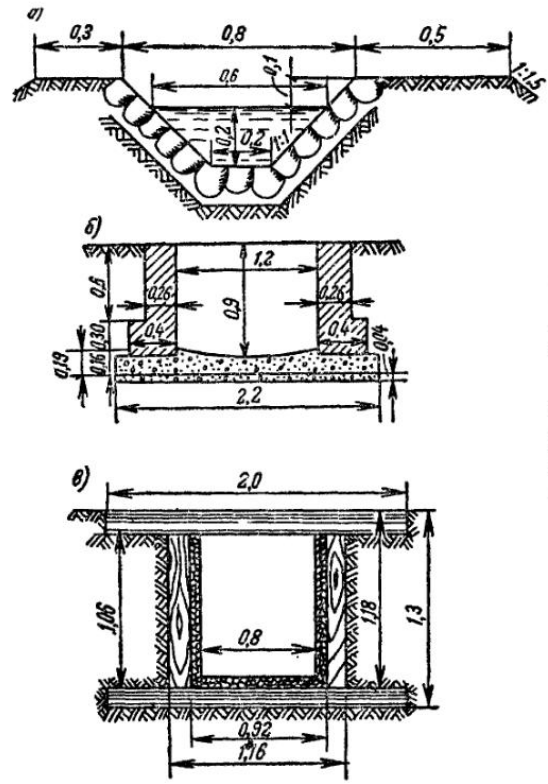


Рис. 4.82. Оросительные каналы
а — земляной; *б* — кирпичный; *в* — деревянный

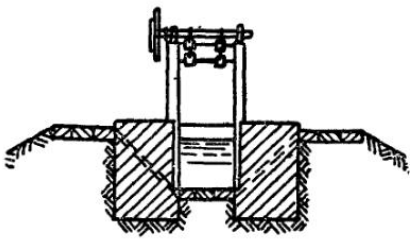


Рис. 4.83. Шлюз-регулятор

делительный колодец. Из него вода по оросительной сети поступает к отдельным картам. Оросительная сеть делится на постоянную и временную. Постоянная оросительная сеть состоит из магистрального канала, его ветвей, распределителей (лотков и канав) и картовых оросителей, обслуживающих отдельные карты. Она предназначена для подачи воды от распределительного колодца до поливных участков (карты). Временная сеть предназначена для распределения воды внутри поливной карты и устраивается перед поливами.

Устройство временной поливной сети зависит от способа полива, который производится напуском по полосам или по бороздам; на полях фильтрации, кроме того, применяется сплошное затопление. Полив сточными водами путем дождевания запрещается.

Для равномерного заполнения борозд карты планируют с продольными и поперечными уклонами; размер уклона зависит от водопроницаемости грунта. Продольные и поперечные уклоны равны соответственно для легких суглинков 0,001 и 0,002, для супесей 0,002 и 0,003, для песков 0,003 и 0,004.

Оросительная сеть должна быть запроектирована так, чтобы сточ-

ная вода подавалась самотеком в любой из участков обслуживаемой этой сетью территории. Земляные канавы устраивают трапецеидального сечения, каналы и лотки — с облицовкой прямоугольного сечения.

Ширина по верху оградительных и разделительных валиков должна быть не менее 0,7 м. Крутизну их откосов принимают в зависимости от грунта: в супесях и суглинках она должна быть не более 1 : 1,5, а в песках — 1 : 2.

Водоподводящий канал, распределители и картовые оросители устраивают в виде открытых бетонных, деревянных, кирпичных или земляных одернованных лотков и каналов (рис. 4.82); при соответствующем обосновании они (кроме картовых оросителей) могут выполняться из неметаллических труб.

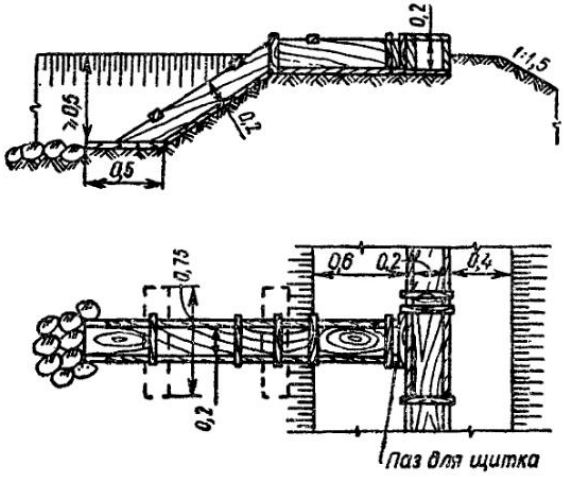


Рис. 4.84. Выпуск на карту полей

Размеры лотков и трубопроводов определяют расчетом. Наименьшие размеры лотков принимают 0,2×0,2 м, а диаметр труб — 100 мм.

Земляные каналы устраивают с одинарным откосом, с соответствующей облицовкой или без нее (в плотных грунтах). Насыпи, в зависимости от грунта, делают с полуторными или двойными наружными откосами, которые укрепляют камнем, дерном, посадкой трав, мощением и т. п. Ширину бермы для удобства обслуживания принимают от 1,5 м для магистральных канав до 0,5 м для оросительной сети.

Каналы рассчитывают по обычным формулам гидравлики для равномерного движения жидкостей. Скорость движения воды в каналах должна исключать выпадение взвешенных веществ из потока, т. е. она должна быть незаиливающей и в то же время не вызывать размыва стенок каналов.

Минимальную незаиливающую скорость принимают равной: для картовых оросителей 0,3 м/с, для распределителей 0,4 м/с и для магистральных каналов 0,5—0,6 м/с. Допустимая средняя неразмывающая скорость зависит от характера грунта и от глубины h потока. При $h=1$ м неразмывающая скорость для илистых грунтов равна 0,15—0,2 м/с, для песка мелкого — 0,2—0,3, для песка крупного — 0,3—0,6, для тощих суглинков и глин малоплотных — до 0,5—0,7 и для среднеплотных глин — до 0,85 м/с.

При других глубинах неразмывающие скорости могут быть определены по формуле

$$v = v_0 h^{0,2}, \qquad (4.135)$$

где v — неразмывающая скорость при глубине потока 1 м;
h — средняя глубина потока, м.

Для одернованных канав неразмывающие скорости могут быть повышены до 0,8—1,8 м/с, для мощеных — до 3, для кирпичных, каменных и бетонных каналов — до 5—6 м/с. Наименьший уклон для картовых оросителей принимают 0,001, а для распределительных и магистральных канав — 0,0005.

Расход воды для картового оросителя можно определять по формуле

$$q = \frac{m\omega_{пол}}{t_ч} = \frac{m\omega_{пол} \cdot 1000}{t_ч \cdot 3600}, \qquad (4.136)$$

где $\omega_{пол}$ — полезная площадь одной карты, га;
m — поливная норма наиболее влаголюбивой культуры, м³/га;
$t_ч$ — продолжительность полива, ч.

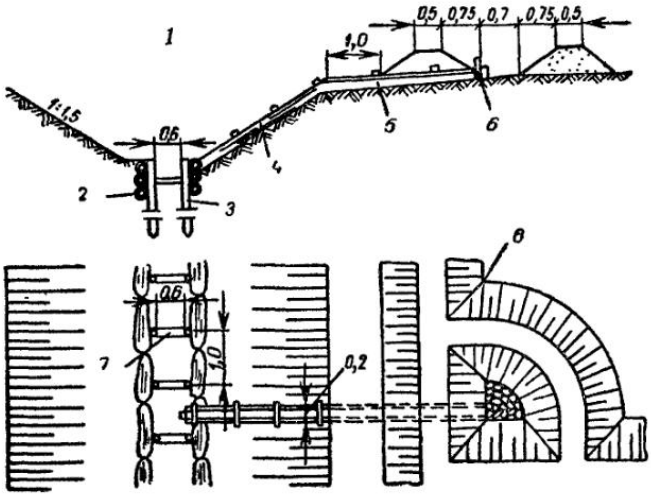


Рис. 4 85. Выпуск с карты полей

1 — осушительная канава; *2* — фашины; *3* — свайки (через 1 м); *4* — деревянный лоток; *5* — деревянный осмоленный короб; *6* — шибер; *7* — распорка; *8* — земляной валик

Для обеспечения нормальной эксплуатации полей на оросительной сети устраиваются вспомогательные сооружения: шлюзы-регуляторы, выпуски, перепады, быстротоки, мосты и дюкеры.

Шлюзы-регуляторы (рис. 4.83) служат для создания подпора и поддержания постоянного уровня сточной воды в распределительном канале, из которого в данное время идет орошение. Выпуск (рис. 4.84) предназначен для передачи воды из картового оросителя на карту. Для сброса талых вод в водоем в весеннее время в самой пониженной части карты устраивают весенний выпуск, соединяющий карту с осушительной канавой (рис. 4.85). При значительных уклонах местности во избежание образования в разводящих канавах больших скоростей устраивают быстротоки и перепады. При пересечении с дорогами разводящую канаву пропускают под дорогой дюкером или же для пропуска дороги над канавой устраивают мост; при пересечении с осушительной канавой, обычно расположенной значительно ниже, устраивают акведук.

Отвод очищенных сточных вод

Осушительную (водоотводящую) сеть устраивают на полях орошения и полях фильтрации при неблагоприятных грунтовых условиях. Она состоит из дренажа, сборной сети, отводящих линий и выпусков.

Дренаж является важным элементом полей. Он позволяет своевременно отводить излишнюю влагу почвы и способствует прониканию воздуха в осушаемый деятельный слой, без чего не может проходить аэробный окислительный процесс. Устройство дренажа обязательно при залегании грунтовых вод на глубине менее 1,5 м от поверхности карт.

В зависимости от характера грунтов дренажную сеть устраивают в виде открытых осушительных канав или закрытого дренажа. В слабопроницаемых грунтах (суглинках) устраивают закрытый дренаж, в сильнопроницаемых грунтах (песок, супесь) его или не устраивают, или устраивают открытые осушительные канавы.

Для расчета дренажной сети необходимо знать расход воды $S_{др}$, которая должна быть отведена с участка, а также продолжительность ее отведения. Расход воды с 1 га площади полей, м³/сутки, определяется по формуле

$$S_{др} = aQt/r, \tag{4.137}$$

где Q — суточная нагрузка сточных вод, м³/га;
t — межполивной период, сутки;
a — коэффициент просачивания, принимаемый обычно в среднем равным 0,5, учитывающий поглощение воды растениями и испарение;
r — продолжительность отведения дренажной воды с карты.

В целях пополнения запаса воздуха в почве величину r принимают меньше, чем межполивной период $[r = (0{,}4 \ldots 0{,}5)t]$.

В сырую погоду, когда испарение уменьшается, или во время обработки участка, когда он еще не покрылся растительностью и, следовательно, поглощение воды растениями отсутствует, коэффициент просачивания повышается до 0,75 и более; во время дождя объем воды на полях также увеличивается. Однако для этих случаев коэффициент a при расчете не повышают, учитывая увеличение продолжительности отведения воды с участка.

Вода в осушительную сеть поступает неравномерно, и вначале поступление идет более интенсивно. Для определения максимальных секундных расходов вводят коэффициент неравномерности n, равный 1,5. При этих условиях расчетный расход отводимой с 1 га воды, л/с, или модуль стока, будет:

$$q_{ст} = \frac{aQt \cdot 1000n}{86\,400r} = \frac{S_{др}\,n}{86{,}4}. \tag{4.138}$$

Расчетный секундный расход одной дрены определяется по формуле

$$q_{др} = q_{ст}\,\omega_{др}, \tag{4.138а}$$

где $\omega_{др}$ — площадь участка, обслуживаемого одной дреной, га; $\omega_{др} = bl/10\,000$ (b — длина дрены, м; l — расстояние между дренами, м).

Расстояние l между дренами зависит от степени водопроницаемости грунта, глубины осушаемого слоя h, глубины заложения дрен H (рис. 4.86), уклона местности и высоты слоя подлежащей отведению воды p и определяется по формуле

$$l = 2\,(H - h)\sqrt{K/p}, \tag{4.139}$$

где K — коэффициент фильтрации, м/сутки;
p — высота слоя воды, отводимой за сутки, м;

$$p = \frac{aQtn}{r \cdot 10\,000}.$$

Таблица 4.43

Коэффициент фильтрации для различных грунтов

Грунт	Эффективный диаметр зерен грунта, м	Коэффициент фильтрации	
		см/с	м/сутки
Песчаный	1,2—0,12	1—0,01	864—8,64
Песчаный с примесью глины	0,12—0,076	0,01—0,004	8,64—3,46
Песчано-глинистый . . .	0,076—0,038	0,004—0,001	3,46—0,86
Проницаемый глинистый	<0,038	<0,001	<0,86

Коэффициент фильтрации может быть ориентировочно определен по табл. 4.43.

Дрены укладывают на глубине 1,5 м от поверхности карты и лишь при соответствующем обосновании допускается укладывать их на глубине 1,25 м. При предварительных расчетах расстояние между дренами принимают равным: в песках 16—25 м, в супесях 12—15 м и в легких суглинках 8—10 м Меньшие расстояния между дренами принимаются при глубине их заложения 1,25 м. Наименьший уклон осушительных канав 0,003.

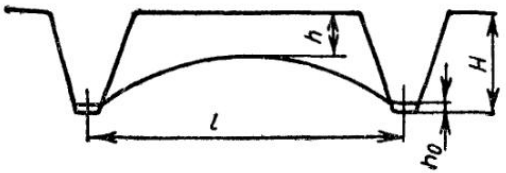


Рис 4 86 Схема дренажа

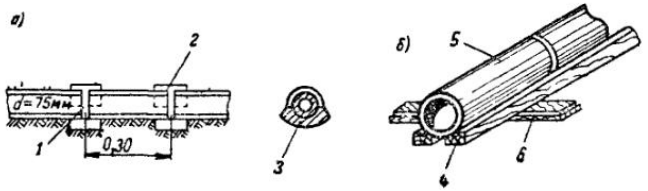


Рис 4 87. Схемы укладки дрен в плотных (*а*) и слабых (*б*) грунтах

1 — зазор, *2* — толь или строительный войлок, *3* — глина, *4*—бруски, *5* — дрены, *6* — шпонки (через 1—2 м)

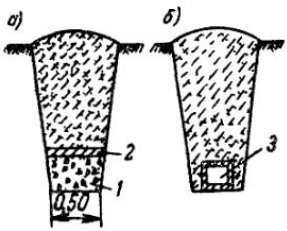


Рис 4 88. Схемы укладки дрен из гравийной отсыпки (*а*) и дрен в виде деревянной трубы (*б*)

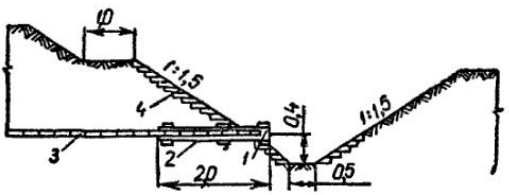


Рис. 4 89 Осушительная канава и выпуск дренажа

1 — мятая глина, *2* — деревянный осмоленный короб, *3* — дрена, *d*=75 мм, *4* — дери

Закрытый дренаж устраивают из керамических дренажных труб или из асбестоцементных безнапорных труб диаметром 75—100 мм Дрены следует располагать перпендикулярно направлению потока грунтовых вод, т. е. параллельно горизонталям местности. Уклон дрен принимают от 0,002 до 0,005; желательно, чтобы он соответствовал уклону поверхности земли. Во избежание заиливания скорость в дренах должна быть не менее 0,2—0,25 м/с.

Рекомендуемая длина дрен не более 120 м. Трубы укладывают впритык с зазорами 4—6 мм. Под стык кладут глиняную подушку (рис. 4.87). Место стыка сверху закрывают толем, войлоком, березовой корой, перевернутой дерниной, а иногда засыпают щебенкой или гравием. При отсутствии указанных выше труб дренаж может выполняться из фашин, гравия (щебня) или из деревянных труб из досок (рис. 4.88).

Открытые осушительные канавы или сборную сеть, в которую поступают воды от закрытого дренажа, устраивают в виде каналов трапе-

цеидальной формы с боковыми сторонами под углом естественного откоса грунта (рис. 4.89). Слабые грунты необходимо крепить фашинами, дерном, а иногда камнем.

Глубина канав в верховье должна быть не менее 1,25 м. Отводящие линии, так же как и сборные, почти всегда делают в виде открытых канав, если к этому не встречается каких-либо препятствий, заставляющих переходить на закрытые водостоки.

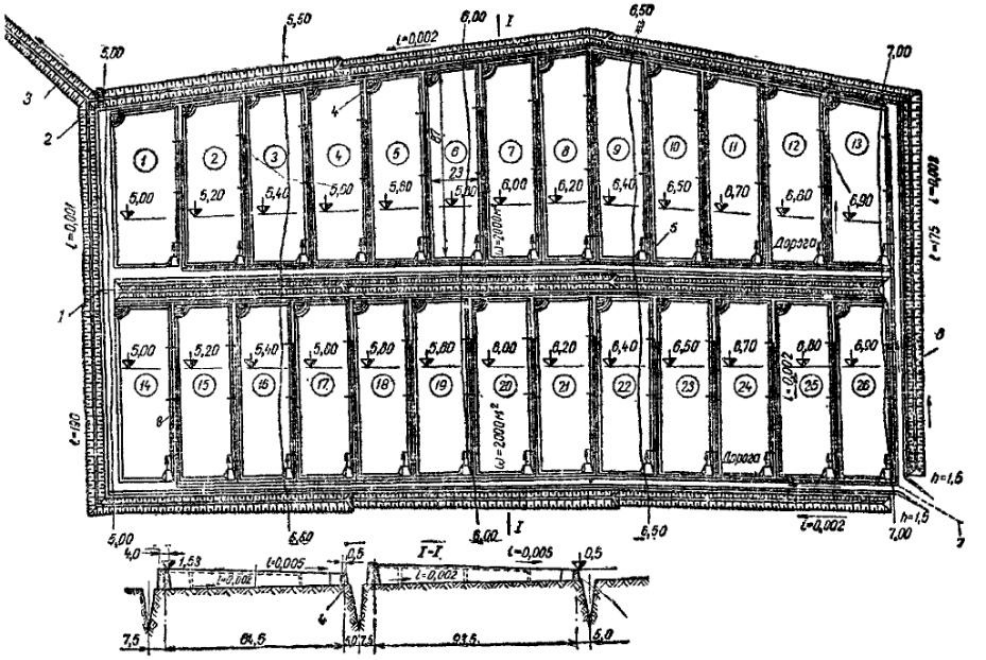


Рис. 4.90. Поля орошения

1 — железобетонная труба, $d=700$ мм; *2* — пешеходный мостик; *3* — выпуск в водоем; *4* — выпуск весенних вод; *5* — съезды на карту; *6* — осушительная канава; *7* — напорный трубопровод; *8* — деревянные желоба

Для защиты от затопления дождевыми водами поля должны быть ограждены в верхней части по периметру нагорными канавами с выводом их в общую осушительную сеть.

На рис. 4.90 приведены план и разрезы полей-орошения.

§ 108. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД И ПОЛЯ ОРОШЕНИЯ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

Как уже было сказано, сточные воды городов и поселков, если они не содержат в недопустимых концентрациях примеси вредных веществ, поступающих от промышленных предприятий, представляют значительную ценность для сельского хозяйства; одновременно с проблемой удобрения они разрешают и проблему орошения — снабжения растений необходимой им влагой.

Полезные свойства сточных вод можно использовать не только при их очистке на коммунальных полях орошения, но и в более широких масштабах: на пригородных сельскохозяйственных землях, а также на землях колхозов и совхозов. Устройство полей на таких землях регламентируется санитарными правилами и ведомственными техническими условиями Министерства сельского хозяйства СССР.

По режиму орошения различают два основных типа: поля с кругло-

годовым приемом сточных вод и поля с сезонным орошением при аккумуляции сточной воды в особо неблагоприятные периоды года в прудах-накопителях или при подаче ее в биологические пруды, испарители, на орошение лесных угодий и пр.

Тот или иной тип поля выбирается в зависимости от особенностей района канализования.

Для орошения сельскохозяйственных земель сточные воды широко применяются в ГДР, где для этого организованы сельскохозяйственные товарищества.

Сточные воды перед подачей на поля проходят механическую очистку. Опыт эксплуатации показал нецелесообразность круглогодичного орошения, и все новые системы проектируются и строятся в ГДР только для периодического орошения. Самая крупная (22 000 га) система таких полей находится под г. Делич. Сеть каналов на полях имеет протяженность 400 км. Из общего расхода сточных вод около 47 млн. м³/год на поля поступает 19 млн. м³/год, в основном за период с марта по сентябрь. Весь суточный приток сточных вод из города размещается на полях только в мае-июне. Круглогодичное орошение здесь также практикуется в ограниченных размерах на пойменных лугах, а избыточные сточные воды в зимний период после механической очистки сбрасываются в р. Белая Эльсира, вызывая ее сильное загрязнение.

В ГДР и ФРГ существуют законы, запрещающие поливать сточными водами (после их механической очистки) овощи, употребляемые в пищу в сыром виде, поэтому на полях орошения возделываются главным образом травы, кормовые культуры и картофель.

По данным опытов, проведенных в ГДР, стоимость устройства и эксплуатации полей орошения в 3 раза выше, чем стоимость очистки на искусственных сооружениях[1]. Устройство полей орошения для крупных городов немецкие специалисты считают нецелесообразным, и подавляющее большинство городов с полями орошения относится к малым населенным пунктам с расходом сточных вод до 5000 м³/сутки и как редкое исключение с расходом более 10 000 м³/сутки.

Значительные осложнения возникают в связи с организационными трудностями совмещения санитарных задач очистки сточных вод и хозяйственных задач их использования на сельскохозяйственных землях. Однако такое совмещение не является обязательным, и возможно их разделение с возложением на городские организации строительства сооружений и выполнения работ по санитарной очистке сточных вод, после чего сточные воды и осадок в обезвреженном виде могут быть использованы в сельском хозяйстве. Такая схема надежна в санитарном отношении, требует меньших затрат, чем устройство сельскохозяйственных полей орошения, и является более перспективной.

§ 109. 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.

---

[1] Постников И С Очистка сточных вод в Германской Демократической Республике Изд-во МКХ РСФСР, 1959.

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 [в Москве 125—150 м³/(га·сутки)].

Строительные и эксплуатационные затраты при устройстве прудов без разбавления значительно меньше, чем при устройстве прудов с разбавлением.

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—2,5 га.

Нижние ступени серийных биологических прудов без разбавления могут быть использованы для разведения рыб, главным образом карпа.

При разведении рыб ранней весной в пруд выпускают 500—2000 мальков на 1 га. Прирост рыбы составляет к концу осеннего периода до 500—800 кг на 1 га. Отлов рыбы производится поздней осенью.

Наличие в воде большой массы питательных веществ способствует интенсивному росту водорослей (ряски). Для борьбы с ними желательно разведение на рыбоводных прудах уток, для которых ряска является хорошим кормом.

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—3 ступени, при поступлении отстоенных сточных вод — 4—5 ступеней. Нагрузку на пруды следует принимать с учетом их реаэрации, которая дает 6—7 г кислорода на 1 м^2 пруда. Этого достаточно, для того чтобы обеспечить очистку 100—250 м^3/(га·сутки) отстоенных сточных вод (без разбавления) или 4000—5000 м^3/(га·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.

Глава XX

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 процесс проводят в аэробных условиях, то сумму реакций биологического окисления можно представить в виде следующих схем:

$$C_x H_y O_z N + \left(x + \frac{y}{4} - \frac{z}{3} - \frac{3}{4}\right) O_2 \xrightarrow{\text{ферменты}} x\,CO_2 + \left(\frac{y-3}{2}\right) H_2O + NH_3 + \Delta H; \quad (4.140)$$

$$C_x H_y O_z N + NH_3 + O_2 \xrightarrow{\text{ферменты}} C_5H_7NO_2 + H_2O + CO_2 + \Delta H; \quad (4.141)$$

$$C_5H_7NO_2 + 5O_2 \xrightarrow{\text{ферменты}} 5CO_2 + NH_3 + 2H_2O + \Delta H; \quad (4.142)$$

$$NH_3 + O_2 \xrightarrow{\text{ферменты}} HNO_2 + O_2 \xrightarrow{\text{ферменты}} HNO_3. \quad (4.143)$$

Здесь $C_xH_yO_zN$ обозначает органические вещества сточных вод, а $C_5H_7NO_2$ — среднестатистическое соотношение основных элементов продуцируемого клеточного вещества.

Реакции (4.140) и (4.141) символизируют биологический процесс очистки от исходных загрязнений состава $C_xH_yO_zN$. Первая реакция — окисление вещества на энергетические потребности клетки, вторая — на синтез биомассы состава $C_5H_7NO_2$. Затраты кислорода на эти две реакции соответствуют $БПК_{полн}$ сточной воды.

Если окисление проводится достаточно долго, то после использования исходного органического вещества начинается процесс окисления клеточного вещества бактерий [реакция (4.142)].

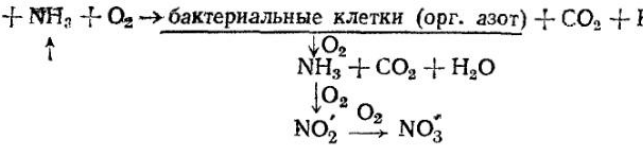
Реакции (4.140) и (4.141) осуществляют гетеротрофы. Когда вода очищена и экзогенный (внешний) источник органического углерода исчерпан, наступают благоприятные условия для развития автотрофных культур. При наличии в воде достаточной концентрации растворенного кислорода в среде развиваются автотрофы — нитрификаторы, которые проводят биологическое окисление аммонийного азота сначала до нитритного, а затем и до нитратного [реакция (4.143)].

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 (C, 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, мочевина полностью гидролизуется 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 $БПК_{полн} : N : P$ (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. В отечественной практике, согласно рекомендациям СНиП, при обработке городских сточных вод используется соотношение $БПК_{полн} : N : P = 100 : 5 : 1$.

Цикл превращений азота в процессе биоокисления загрязнений сточных вод в общем виде может быть представлен диаграммой:



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. Таким образом, для цикла превращений азота справедливы реакции (4.141)—(4.143).

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 относительно 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, ката-

литическая 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, схематично показанный реакциями (4.140) и (4.141), состоит из множества ступеней и начинается с расщепления органического вещества с выделением активного водорода. Этот вид окисления называется непрямым. 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, Alkaligehes, Bacillus, Bacterium micrococcus Flavobacterium.

В ряде илов развиваются не образующие мицелия, актиномицеты, называемые mycobacterium.

Нитрифицирующие бактерии представлены двумя основными видами —Nitrosomonas и Nitrobacter. Почти всегда в бо́льших или меньших числах в илах присутствуют нитчатые бактерии Sphaerotilus и Cladothrix.

В активном иле всегда присутствуют хорошо сформированные зоо-

глейные скопления бактерий с развитой поверхностью, состоящие как из чистой культуры Zooglea ramigera, так и из развитых форм многих других видов бактерий.

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 бактерий 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 обусловливает 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 бактерией 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 аминогрупп.

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 хлопка отмирают, распадаются, нерастворимые полисахариды остаются в хлопке и захватывают следующие малоактивные бактерии. Небактериальное население илов и биопленки представлено следующими группами микроорганизмов: простейшие, коловратки, 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, соот-

ветствующих основным фазам роста ила и обусловливающих 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 муть.

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—10 тыс. в 1 мл, «нормально», «заметно», «удовлетворительно» — 10—100 тыс. и «много» — более 100 тыс.

§ 110. 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. Густо заселяющие 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.

Классификация биофильтров

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 поступающих 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. Схемы работы одноступенчатых биофильтров с ре-

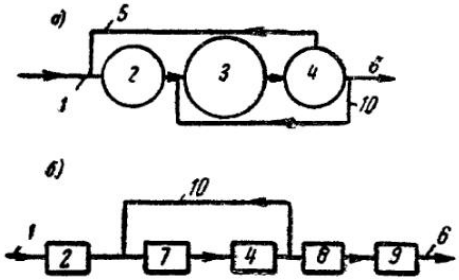


Рис. 4.91. Схема работы биофильтров

1 — подача сточной жидкости; *2* — первичный отстойник; *3* — биофильтр; *4* — вторичный отстойник; *5* — подача ила из вторичного отстойника; *6* — выпуск осветленной сточной воды; *7* и *8* — биофильтры соответственно I и II ступени; *9* — третичный отстойник; *10* — рециркуляционная вода

циркуляцией и без нее приведены на рис. 4.91, *а*, а двухступенчатых с рециркуляцией — на рис. 4.91, *б*. 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 зависимо-

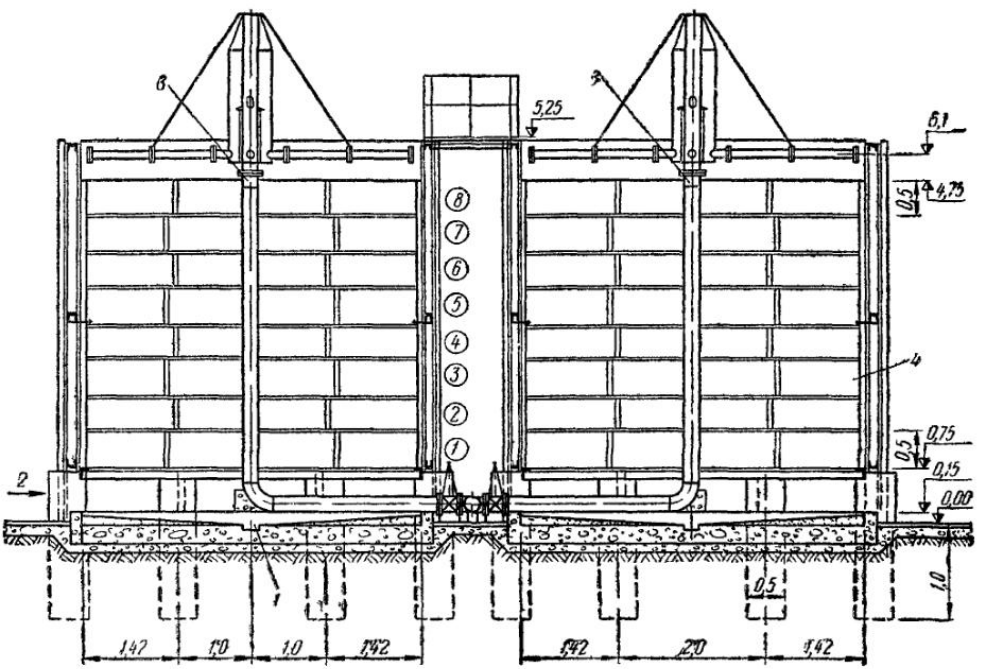


Рис. 4 92. Экспериментальный биофильтр с загрузкой из гофрированных листов полиэтилена размером 500×500 мм

1 — лоток площадью сечения 200×200 мм; *2* — подвод воздуха; *3* — переход 150×200 мм, *4* — загрузка; цифрами в кружках обозначены номера слоев загрузки типа «сложная волна»

сти 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—100 кг/м³, пористость 90—97%, высота слоя загрузки 2—16 м. Плотность асбестоцементной загрузки 200—250 кг/м³, пористость 80—90%, высота слоя загрузки 2—6 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—60 кг/м³, пористость 94—99%, высота слоя загрузки 3—8 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—3 м. Расстояние между дисками 10—20 мм, частота вращения вала с дисками 1—40 мин$^{-1}$.

Плоскостные биофильтры с засыпной и мягкой загрузкой рекомендуется применять при расходах до 10 тыс. м³/сутки, с блочной загрузкой — до 50 тыс. м³/сутки, погружные биофильтры — для малых расходов до 500 м³/сутки.

Союзводоканалниипроектом составлен экспериментальный проект биофильтров пропускной способностью 200—1400 м³/сутки с загрузкой из пеностеклянных блоков 375×375 мм, из гофрированных листов полиэтилена размером 500×500 мм типа «сложная волна» (рис. 4. 92) и асбестоцементных листов размером 974×2000 мм.

Основные типы биофильтров

Капельные биофильтры. В капельном биофильтре (рис. 4.93) 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 м³ воды на 1 м³ фильтра.

Капельные биофильтры рекомендуется применять при расходе сточных вод не более 1000 м³/сутки. Они предназначаются для полной (до $БПК_{20}$=10 ...15 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, профильтровавшаяся 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 загрязнениям 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—8% площади поверхности биофильтров. Во избежание заиливания лотков дренажной системы скорость движения воды в них должна быть не менее 0,6 м/с.

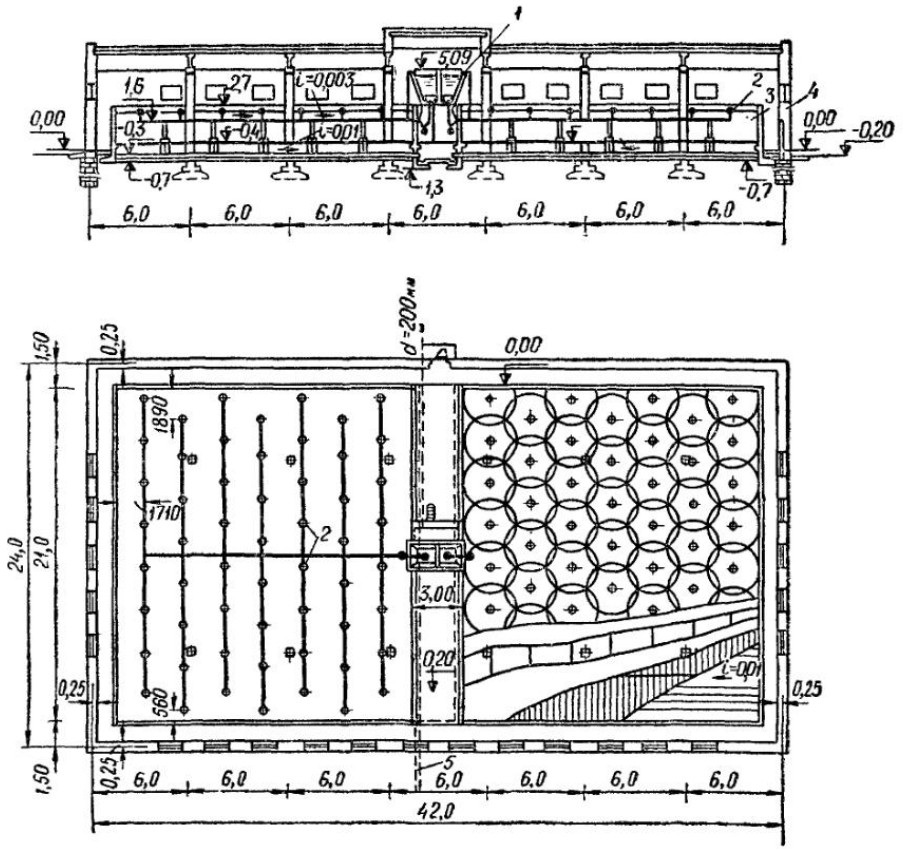


Рис. 4.93. Капельный биофильтр

1 — дозирующие баки сточной воды; *2* — спринклеры; *3* — загрузка биофильтра; *4* — железобетонные стенки; *5* — подача сточной воды на очистку

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 загрузочного 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.

Все примененные для загрузки естественные и искусственные материалы должны удовлетворять следующим требованиям: при плотности до 1000 кг/м³ загруженный материал в естественном состоянии должен выдерживать нагрузку на поперечное сечение не менее 0,1 МПа, не менее 10 циклов испытаний на морозостойкость; кипячение в течение 1 ч

в 5%-ном растворе соляной кислоты; материал не должен получать заметных повреждений или уменьшаться в весе более чем на 10% первоначальной загрузки биофильтров; загрузка биофильтров по высоте должна быть одинаковой крупности, и только для нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м следует применять более крупную загрузку (диаметром 60—100 мм).

Высоконагружаемые биофильтры. В начале текущего столетия появились биофильтры, которые у нас в стране 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 загрузочному материалу и повышенной в несколько раз нагрузке по воде.

Повышенная скорость 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.

В СССР конструкции аэрофильтров были предложены Н. А. Базякиной и С. Н. Строгановым и в 1929 г. построены на Кожуховской биологической станции.

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 м² 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 бóльшую 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—16 м и применяются для очистных станций пропускной способностью до 50 000 м³/сутки при благоприятном рельефе местности и при $БПК_{20}$ очищенной воды 20—25 мг/л. В отечественной практике они распространения не получили.

Расчет биофильтров

Капельные биофильтры. Расчет биофильтров состоит в определении необходимого объема загрузочного материала для очистки сточной воды и размеров элементов водораспределительных устройств, дренажа, лотков для сбора и отведения воды.

Объем фильтрующей загрузки определяют по окислительной мощности *ОМ*. Под окислительной мощностью понимается масса кислорода, выраженная в граммах БПК, которая может быть получена в сутки с 1 м³ загрузочного материала биофильтра.

Окислительная мощность биофильтра зависит от температуры сточной воды и наружного воздуха, от характера поступающих загрязнений, материала загрузки, способа подачи воздуха и др.

При расчете биофильтров окислительную мощность, г/(м³·сутки), назначают в зависимости от среднегодовой температуры воздуха:

До 3° С	200
От 3 до 6° С	150—250
» 6 » 10° С	250
10° С	300

При иной среднегодовой температуре окислительную мощность увеличивают или уменьшают пропорционально отношению фактической температуры к 10° С.

При среднегодовой температуре воздуха до 3° С биофильтры любой пропускной способности размещаются в отапливаемых помещениях с пятикратным воздухообменом в 1 ч; температура в них должна быть на 2° выше температуры сточной воды. В таких же помещениях располагаются биофильтры пропускной способностью до 500 м³/сутки, если среднегодовая температура воздуха 3—6° С. Биофильтры большой пропускной способности в этом случае размещаются в шатрах.

Окислительную мощность биофильтра *ОМ*, г/(м³·сутки), можно выразить уравнением

$$OM = \frac{L_a - L_t}{W_1}, \text{ или } W_1 = \frac{L_a - L_t}{OM}, \qquad (4.144)$$

где L_a — биохимическая потребность в кислороде, г на 1 м³ поступающей на биофильтр воды;

L_t — то же, выходящей с фильтра (очищенной) воды;

W_1 — объем фильтрующего материала, м³, необходимый для очистки 1 м³ сточной воды в сутки.

Допустимая нагрузка, т. е. расход, м³/сутки, сточных вод, которые могут быть очищены на 1 м³ фильтрующей загрузки, определяется из уравнения

$$q_0 = \frac{OM}{L_a - L_t}. \qquad (4.145)$$

Нагрузка по воде (для открытых биофильтров) при различных значениях $БПК_{20}$ поступающих на биофильтр сточных вод может быть принята по табл. 4.44*.

Таблица 4.44

Нагрузка сточных вод на биофильтры в зависимости от $БПК_{20}$

Среднегодовая температура воздуха, °С	Окислительная мощность, г/м³	q_0, м³/(м³·сутки)	
		при $БПК_{20}$=200 мг/л	при $БПК_{20}$=300 мг/л
От 3 до 6	150	0,75	0,5
» 6 » 10	250	1,25	0,83
» 10 и выше	300	1,5	1

* $БПК_{20}$ очищенной воды принята равной 0; в практике она колеблется от 10 до 15 мг/л.

Зная расход сточных вод Q, м³/сутки, поступающих на станцию, и допустимую нагрузку q_0, нетрудно определить необходимый объем загрузки, м³:

$$W = Q/q_0. \tag{4.146}$$

Капельные биофильтры можно рассчитывать по методу кафедры канализации МИСИ в следующем порядке:

а) определяется коэффициент

$$K = L_a/L_t, \tag{4.147}$$

где L_a — $БПК_{20}$ сточной воды, поступающей на биофильтры (без рециркуляции — не более 220 мг/л);

L_t — $БПК_{20}$ выходящей воды;

б) по среднезимней температуре воды T и значению K определяются высота биофильтра H и гидравлическая нагрузка q (табл. 4.45); если полученное значение K превышает значения, приведенные в табл. 4.45, необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией;

в) по расходу очищаемых сточных вод (Q, м³/сутки) и гидравлической нагрузке [q, м³/(м²·сутки)] определяется общая площадь биофильтров

$$f = Q/q. \tag{4.148}$$

Таблица 4.45

Параметры капельного биофильтра

Гидравлическая нагрузка q, м³/(м²·сутки)	Значения K при температуре сточной воды T			
	8°С	10°С	12°С	14°С
1	8,0/11,6	9,8/12,6	10,7/13,8	11,4/15,1
1,5	5,9/10,2	7,0/10,9	8,2/11,7	10,0/12,8
2	4,9/8,2	5,7/10,0	6,6/10,7	8,0/11,5
2,5	4,3/6,9	4,9/8,3	5,6/10,1	6,7/10,7
3	3,8/6,0	4,4/7,1	5,0/8,6	5,9/10,2

Примечание. Перед чертой даны значения K для высоты биофильтра H=1,5 м, за чертой — H=2 м.

Биофильтры устраивают в виде отдельных секций. Число и размеры секций зависят от способов распределения сточной воды по поверхности, условий их эксплуатации и пр.; число секций должно быть не менее 2 и не более 6—8; все секции должны быть рабочими.

Высоконагружаемые биофильтры. В результате исследований, проведенных АКХ и МИСИ (И. С. Постников, В. В. Безенов и С. В. Яковлев), разработаны достаточно точные методы расчета высоконагружаемых биофильтров.

По заданным $БПК_{20}$ очищенной воды L_t, г/м³, устанавливается концентрация подаваемых на биофильтр сточных вод или концентрация смеси их с разбавляющей водой (допустимая) $L_{см}$, которая может быть допущена при данной высоте биофильтра и температуре сточной воды:

$$L_{см} = kL_t, \tag{4.149}$$

Значение k принимается по табл. 4.46.

По допустимой концентрации смеси и $БПК_{20}$ поступающей сточной воды L_a, г/м³, устанавливается коэффициент рециркуляции

$$n = \frac{L_a - L_{см}}{L_{см} - L_t}, \tag{4.150}$$

Таблица 4.46

Значения k для определения $L_{см}$

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
» 10 » 14	3,3	4,4	5,7	7,5	9,6
» 14 и выше	4,4	5,7	7,5	9,6	12

где $n = q_р/Q$ — отношение рециркуляционного расхода $q_р$ к расходу сточной воды Q.

Площадь биофильтров может быть определена по формуле

$$F = Q(n+1)L_{см}/N, \tag{4.151}$$

где Q — среднесуточный приток сточной воды, м³;

N — допустимая нагрузка, г $БПК_{20}$ на 1 м² площади биофильтра в сутки, принимаемая в зависимости от среднегодовой температуры воздуха:

До 3° С	1700
От 3 до 6° С	2300
Более 6° С	3000

Общий объем фильтрующей среды W, м³, определяется по формуле

$$W = FH, \tag{4.152}$$

где H — рабочая высота биофильтра, м.

Гидравлическая нагрузка q, м³/(м²·сутки), на поверхность биофильтра определяется по формуле

$$q = N/L_{см}. \tag{4.153}$$

Гидравлическая нагрузка должна быть 10—30 м³/(м²·сутки). Если при вычислении она получается менее 10 м³/(м²·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 $БПК_{20} = 25 \ldots 30$ мг/л, высота биофильтра должна быть не менее 2 м, если $БПК_{20} = 20$ мг/л — не менее 3 м и при $БПК_{20} = 15$ мг/л — не менее 4 м.

Приведенный метод имеет серьезные недостатки: высота биофильтра может назначаться в пределах от 2 до 4 м; отсутствует возможность проанализировать работу действующих биофильтров и рассчитать биофильтр на любую заданную степень очистки и пр.

Более точным является метод, предложенный проф. С. В. Яковлевым. Он дает возможность рассчитать биофильтр на любую пропускную способность и степень очистки.

Как известно, одновременно с процессом изъятия из сточных вод загрязняющих их веществ в теле биофильтров идет процесс окисления этих веществ. При этом, естественно, окисление идет значительно медленнее, чем изъятие загрязнений.

На основании анализа каждого процесса проф. С. В. Яковлевым предложены уравнения, характеризующие зависимость между основными факторами, обусловливающими работу биофильтров, и рекомендован графоаналитический метод расчета биофильтров.

Координатами графика, приведенного на рис. 4.94, являются условный эффект очистки $Э\%$ и опытный критериальный комплекс $Ф_я$:

$$Э = 100L_t/L_a; \tag{4.154}$$

$$Ф_я = 10k_t H/q^{0,4}, \tag{4.155}$$

где H — высота фильтра, м;

k_t — константа изъятия загрязнений, определяемая по уравнению Стриттера:

$$k_t = k_{20} \cdot 1{,}047^{T-20}; \qquad (4.156)$$

q — гидравлическая нагрузка, м³/(м²·сутки).

Получены также аналитические уравнения приведенной на рис. 4.94 кривой при $L_a/L_t < 10$ и при $L_a/L_t \geqslant 10$*.

Уточненная формула для определения параметров биофильтра для очистки бытовых сточных вод имеет вид:

$$\lg \frac{L_a}{L_t} = \alpha \frac{HB^{0,6}\, k_t}{q^{0,4}} + \beta = \alpha\Phi + \beta, \qquad (4.157)$$

где B — расход воздуха, м³ на 1 м³ воды.

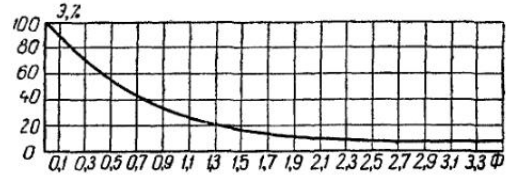


Рис. 4.94. Кривая эффективности работы биофильтров

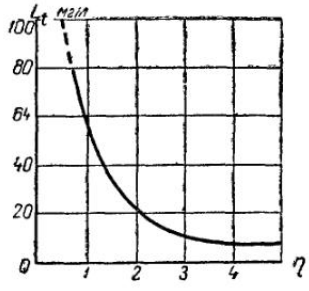


Рис. 4.95. Кривая зависимости $L_t = f(\eta)$

Эта формула справедлива для биофильтров, работающих с рециркуляцией и без нее.

Значения α и β приведены в табл. 4.47.

Таблица 4.47

Значения коэффициентов α и β

B, м³/м³	Φ	α	β
8	$\leqslant 0{,}662$ $> 0{,}662$	1,51 0,469	0 0,69
10	$\leqslant 0{,}85$ $> 0{,}85$	1,2 0,4	0,13 0,83
12	$\leqslant 1{,}06$ $> 1{,}06$	1,1 0,2	0,19 1,15

При работе фильтров с рециркуляцией $L_a = L_{см}$, тогда

$$L_{см} = 10^{\alpha\Phi+\beta} L_t = K L_t, \qquad (4.158)$$

где

$$K = 10^{\alpha H B^{0,6} k_t / q^{0,4} + \beta}. \qquad (4.159)$$

Для упрощения расчетов по формуле (4.159) составлена табл. 4.48.

Биофильтры рассчитывают с помощью табл. 4.48 в следующем порядке:

а) определяют коэффициент

$$K = L_a/L_t,$$

* Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Биологические фильтры. М., Стройиздат, 1975.

где L_a — $БПК_{20}$ сточной воды, поступающей на биофильтры (без рециркуляции не более 300 мг/л);
L_t — $БПК_{20}$ выходящей воды;

Таблица 4.48

Значения коэффициента K по формуле (4.159)

H, м	Значение K при среднезимней температуре сточной воды T, °С							
	8		10		12		14	
	Гидравлическая нагрузка q, м³/(м² · сутки)							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При B=8 м³ на 1 м³ воды								
2	3,02	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05
При B=10 м³ на 1 м³ воды								
2	3,69	2,89	4,08	3,11	4,5	3,36	5,09	3,67
3	6,1	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,9	6,04
4	10,1	6,23	12,3	7,18	15,1	8,45	16,4	10
При B=12 м³ на 1 м³ воды								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31
3	7,25	5,01	8,36	5,55	9,9	6,35	11,7	7,2
4	12	7,35	14,8	8,5	18,4	10,4	23,1	12

б) по среднезимней температуре сточной воды T и найденному значению K определяют H, q и B по табл. 4.48; если полученное значение K отличается от приведенных в табл. 4.48, следует принимать для очистки без рециркуляции H, q и B по ближайшему большему значению K, для очистки с рециркуляцией — по меньшему (решается технико-экономическим расчетом);

в) определяют $БПК_{20}$ смеси сточных вод и коэффициент рециркуляции (для биофильтров с рециркуляцией) по формулам (4.158) и (4.150);

г) определяют площадь биофильтров по формулам:

для биофильтров без рециркуляции

$$f = Q/q, \tag{4.160}$$

для биофильтров с рециркуляцией

$$f = Q(n+1)/q. \tag{4.161}$$

Если $L_a > 300$ мг/л, следует принимать $K = 300/L_t$.

Из табл. 4. 48 выбираем значение $K \geqslant 300/L_t$; значение n определяем [см. формулу (4.150)] по $L_{см} = 300$ мг/л. Если табличное $K < 300/L_t$, то $L_{см}$ определяется по формуле (4.158).

Расчет биофильтров с пластмассовой загрузкой можно производить по кривой, приведенной на рис. 4.95, или по критериальному комплексу

$$\eta = PHk_t/F, \tag{4.162}$$

где P — пористость, %;

F — масса органических загрязнений, поступающих в сутки на 1 м² площади поверхности загрузочного материала:

$$F = L_1 q/S = M/S; \tag{4.163}$$

здесь S — поверхность загрузки.

Значение k_t вычисляется по формуле (4.156).

Если L_t находится в интервале от 7 до 11 мг/л, то его значение определяется по формуле $L_t = 10^{1,23-0,066\eta}$ и

$$H = 15,13\,(1,23 - \lg L_t)\,F/(Pk_t). \tag{4.164}$$

Если $11 \leqslant L_t \leqslant 100$ мг/л, то $L_t = 10^{2,18-0,385\eta}$ и

$$H = 2,6\,(2,13 - \lg L_t)\,F/(Pk_t). \tag{4.165}$$

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

$$q_в = БПК_{20}/21. \tag{4.166}$$

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.

Распределение сточных вод по биофильтрам

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.

Спринклерное орошение. Спринклерная система состоит из дозирующего бака, разводящей сети и спринклеров.

Спринклеры (спринклерные головки) — специальные насадки, надетые на концы стояков, которые ответвляются от водораспределительных труб, уложенных на поверхности или в теле биофильтра. Отверстия спринклерных головок невелики — обычно 19, 22 и 25 мм. Во избежание коррозии спринклеры изготовляют из бронзы или из латуни.

Один из насадков, применяемый в отечественной практике, показан на рис. 4.96. Достоинством головки этого типа является, то, что опора, к которой прикреплен отражательный обратный конус, находится в стороне от движущейся струи и не мешает ее действию.

Дозирующий бак автоматически подает воду в спринклерную сеть под постоянным напором. Продолжительность опорожнения бака (период

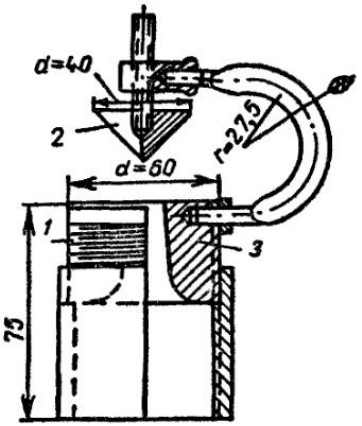


Рис. 4.96. Спринклерная головка

1 — резьба 50 мм; *2* — отражательный зонт; *3* — головка

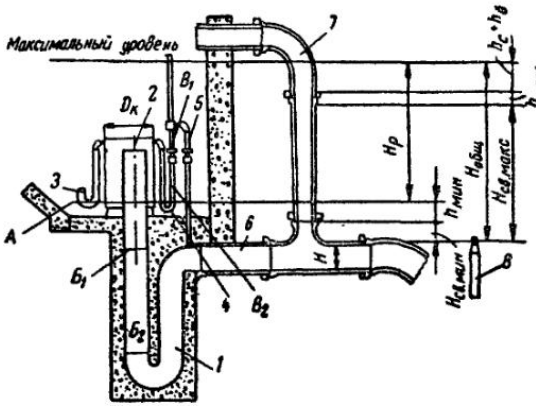


Рис. 4.97. Дозирующий бак с сифоном

1 — сифон; *2* — стакан; *3* — воздушная трубка; *4* — трубка (регулятор напора); *5* — патрубок; *6* — главная выпускная труба; *7* — переливная труба; *8* — спринклер

орошения), зависящая в основном от вместимости бака и размеров выпускаемой трубы, всегда одинакова; продолжительность же наполнения бака зависит только от притока сточных вод, который колеблется в течение суток. Поэтому орошение биофильтра производится периодически, через неровные по продолжительности интервалы. Во избежание сильного охлаждения необогреваемых биофильтров интервал между орошением не должен превышать 5—8 мин.

При большой площади биофильтры разделяются на секции с самостоятельными распределительными сетями и отдельными дозирующими баками.

В отечественной практике наибольшее распространение получил дозирующий бак с сифоном (рис. 4. 97). Преимущество его перед другими состоит в том, что он совершенно не имеет движущихся частей.

Выпускная труба из дозирующего бака представляет собой сифон, верхний срез которого возвышается над дном бака. Внутри дозирующего бака расположен опрокинутый стакан, установленный на подставках и не доходящий до дна бака. К стакану в верхней его части присоединены две трубки: одна из них — воздушная трубка — заканчивается открытым концом в баке, другая трубка, представляющая собой вентиляционный затвор, или регулятор напора, заканчивается открытым концом, выведенным выше максимального уровня воды в баке. Кроме того, регулятор напора присоединен патрубком к главной выпускной трубе. В верхней части бака имеется переливная труба, диаметр которой принимается в соответствии с притоком воды в бак.

Действие автоматического сифона заключается в следующем. Вначале вода в баке стоит на низшем уровне A, соответствующем нижнему колену воздушной трубки. В сифоне вода в это время стоит на уровне $Б_1$

выходного отверстия спринклеров; регулятор напора заполнен водой до уровня B_1, на котором он присоединен к стакану. По мере поступления воды горизонт ее в баке повышается, причем давление под стаканом и в отводной трубе остается равным атмосферному до тех пор, пока уровень ее не дойдет до отверстия воздушной трубки. После этого выход воздуха из-под стакана прекращается и воздушное давление в нем по мере заполнения бака начинает возрастать. Уровень воды в главном сифоне и регуляторе понижается, в то время как горизонт ее в другой ветви регулятора остается все время на уровне переливного патрубка.



Рис. 4.98. Кривые для расчета спринклеров
1 — с отверстием d=19 мм; *2* — то же, d=20 мм; *3* — то же, d=22 мм; *4* — то же, d=23,5 мм; *5* — то же, d=25 мм

Когда горизонт воды в баке достигнет наивысшего уровня, а горизонт воды под стаканом достигнет верхнего края отводной трубы, уровень воды в регуляторе напора упадет до нижнего его колена B_2, а в главном сифоне — до уровня $Б_2$, также почти у нижнего колена. При этом давление воздуха под стаканом, в главной трубе сифона и в регуляторе напора будет равно высоте столба воды $h_{изб}$ [см. далее формулу (4.182)]. В следующий момент гидравлический затвор в регуляторе напора прорвется, давление под стаканом упадет до атмосферного, вследствие чего вода из бака устремится в главую трубу и будет вытекать из нее до тех пор, пока горизонт в баке не упадет до уровня A нижнего колена воздушной трубки. Как только через нее воздух проникнет под стакан, действие сифона приостановится, причем колено регулятора напора, засасывающего во время действия сифона воду из главной отводной трубы, останется заполненным водой.

Для регулирования наивысшего уровня воды в баке, при котором начинают действовать сифоны, верхнюю часть регулятора напора делают подвижной на сальниках; поднимая или опуская переливной патрубок регулятора напора, можно установить начало действия сифона как раз в тот момент, когда уровень воды под стаканом дойдет до края выпускной трубы. Отводную трубу от бака можно устраивать с гидравлическим затвором и без него. Диаметр сифона равен диаметру разводящей трубы. Внутренний диаметр колокола принимают равным двум диаметрам трубы сифона, но он может быть и больше.

По мере вытекания воды из бака радиус действия спринклера, зависящий от напора, постепенно уменьшается и таким образом орошается вся площадь круга вокруг спринклера. Для более равномерного распределения воды по орошаемой площади дозирующему баку придают такую форму, при которой площадь его горизонтальных сечений на различных уровнях пропорциональна расходу воды из бака в данный момент. Этому требованию с достаточным приближением удовлетворяет форма опрокинутой усеченной пирамиды. Площадь нижнего ее сечения назначают в зависимости от размера выходной трубы; площадь верхнего сечения (соответствующего уровню воды при максимальном напоре) определяется из указанного соотношения.

Расчет водораспределительной системы сводится к определению расхода воды из каждого разбрызгивателя (спринклера), определению необходимого их числа, диаметра разводящей сети, емкости и времени работы дозирующего бака.

Расход воды из разбрызгивателя, м³/с, определяется по формуле

$$q_р = \mu\omega\sqrt{2gH_{св}}, \qquad (4.167)$$

где μ — коэффициент истечения, принимаемый равным 0,67;
ω — полезная площадь сечения отверстия разбрызгивателя, м²;
$H_{св}$ — свободный напор у разбрызгивателя, м.

Для обычного разбрызгивателя максимальный расход $q_{макс}$ в зависимости от свободного напора $H_{св}$ у насадка может быть определен по рис. 4.98, составленному для различных диаметров отверстий разбрызгивателей. Максимальный секундный расход, который может быть подан на одну секцию биофильтра,

$$Q_{макс} = q_{макс}\, n = q_{макс}\, F_с/f_р, \qquad (4.168)$$

где n — число разбрызгивателей в одной секции;
$F_с$ — площадь одной секции биофильтра, м²;
$f_р$ — площадь, орошаемая одним разбрызгивателем, м².

Каждый разбрызгиватель орошает вокруг себя площадь радиусом R, размер которого зависит от свободного напора у разбрызгивателя. При расположении разбрызгивателей рядами (рис. 4.99, *а*) орошаемая пло-

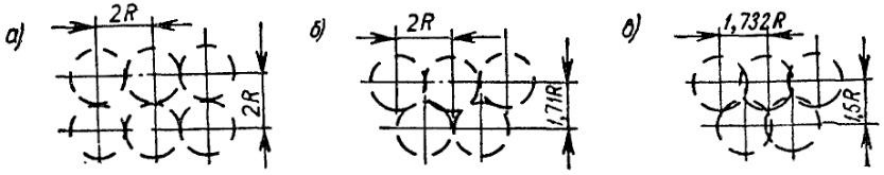


Рис. 4.99. Схема расположения спринклера

щадь составит 78,5% общей площади, а при расположении разбрызгивателей в шахматном порядке (рис. 4.99, *б*) — около 90% общей площади.

Разбрызгиватели располагают так, чтобы орошаемая площадь одним из них частично перекрывала площади, орошаемые соседними разбрызгивателями (рис. 4.99, *в*). Площадь орошения одним разбрызгивателем $f_р$ условно принимают равной площади правильного шестиугольника, вписанного в круг радиусом R:

$$f_р = \frac{3}{2}R^2\sqrt{3} = 2{,}6R^2, \qquad (4.169)$$

откуда

$$R = \sqrt{f_р}/1{,}61. \qquad (4.170)$$

В этом случае расстояние между разбрызгивателями равно 1,73 R, а расстояние между рядами — 1,5 R.

Величину $f_р$ выбирают так, чтобы она не вызывала чрезмерного повышения свободного напора (который обычно принимают равным 1,5 м) и увеличения диаметров трубопроводов спринклерной системы.

Рассчитывать разводящую сеть необходимо с учетом восстановительного напора, который возникает в результате переменного расхода воды вдоль пути ее движения по трубопроводам, а также с учетом местных сопротивлений, возникающих на поворотах, в местах изменения диаметров труб, и пр.

Таким образом, потери напора могут быть подсчитаны по формуле

$$h = \Sigma\frac{\lambda l}{D}\,\frac{v_k^2}{2g} + \Sigma\zeta\frac{v_k^2}{2g} - \Sigma\eta\frac{v_{k+1}^2 - v_k^2}{2g}, \qquad (4.171)$$

где $\lambda l/D$ — величина, характеризующая потери напора по длине трубопровода;

v_{k+1} и v_k — скорости движения воды в распределительных трубопроводах до и после ответвления;

ζ — коэффициент местного сопротивления;

η — коэффициент восстановления скоростного напора, принимаемый равным около 1.

При длинной распределительной сети восстановительный напор можно не учитывать.

Потери напора определяют для наиболее удаленного от дозирующего бака разбрызгивателя. Скорость протока в главной магистральной трубе обычно принимают равной 1 м/с, а в разводящих трубах, на которых установлены стояки с разбрызгивателями, — до 0,75 м/с.

Максимальный уровень воды в дозирующем баке (см. рис. 4.97), при котором должно начаться орошение, определяют по формуле

$$H_{\text{общ}} = H^{\text{св}}_{\text{макс}} + \Sigma h_{\text{макс}} + h_{\text{с}} + h_{\text{б}}, \tag{4.172}$$

где $H^{\text{св}}_{\text{макс}}$ — максимальный свободный напор у самого отдаленного разбрызгивателя, м;

$\Sigma h_{\text{макс}}$ — максимальные потери напора в сети с учетом восстановительного напора и местных сопротивлений, м;

$h_{\text{с}}$ — потери напора в сифоне, м;

$h_{\text{б}}$ — потери напора в баке, м.

Для предварительных подсчетов сумму всех потерь при максимальном расходе можно принимать равной 25% общего напора $H_{\text{общ}}$.

Наименьший суммарный расход воды через разбрызгиватели $q^{\text{с}}_{\text{мин}}$ должен быть больше максимального притока в бак $q_{\text{пр}}$. При несоблюдении этого требования разбрызгиватели будут работать непрерывно, что приведет к неравномерному орошению биофильтра и ухудшению его работы. Обычно принимают $q^{\text{с}}_{\text{мин}} = 1{,}5\, q_{\text{пр}}$. Величину $q_{\text{пр}}$ определяют по формуле

$$q_{\text{пр}} = \frac{QK_{\text{ч}}}{86\,400N}, \tag{4.173}$$

где Q — среднесуточный приток воды на биофильтр, м^3;

$K_{\text{ч}}$ — коэффициент часовой неравномерности притока;

N — число установленных дозирующих баков.

Свободный напор можно определять как по величине минимального расхода, пользуясь графиком (см. рис. 4.98), так и по отношению минимального расхода воды из разбрызгивателя к максимальному.

Максимальный расход в соответствии с формулой (4.167)

$$q_{\text{макс}} = \mu\omega\sqrt{2gH^{\text{св}}_{\text{макс}}} = A\sqrt{H^{\text{св}}_{\text{макс}}}, \tag{4.174}$$

где A — постоянный коэффициент для насадков данного типа и размера.

Минимальный расход соответственно

$$q_{\text{мин}} = A\sqrt{H^{\text{св}}_{\text{мин}}}. \tag{4.175}$$

Отсюда

$$H^{\text{св}}_{\text{мин}} = q^2_{\text{мин}}\, H^{\text{св}}_{\text{макс}}/q^2_{\text{макс}}. \tag{4.176}$$

Во избежание засорения разбрызгивателей свободный напор для них $H^{\text{св}}_{\text{мин}}$ обычно принимают равным 0,5 м. Зная минимальный и максимальный свободный напор и определив соответствующий последнему

расход, по формуле (4.175) определяют расход при минимальном напоре.

Объем дозирующего бака W зависит от продолжительности периода между двумя его последовательными опорожнениями, который принимают равным 5—8 мин; продолжительность опорожнения бака 1—5 мин, тогда

$$W = (q_{ср} - q_{пр})\, t_{оп} \cdot 60, \tag{4.177}$$

где $q_{ср}$ — средний расход через разбрызгиватели, питаемые данным баком, л/с, приблизительно равный:

$$q_{ср} = (q_{макс} + q_{мин})\, n\, \frac{1,1}{2}; \tag{4.178}$$

$q_{пр}$ — максимальный приток сточных вод в бак, л/с;
$t_{оп}$ — продолжительность опорожнения, мин;
n — число разбрызгивателей, обслуживаемых баком.

Рабочую высоту бака $H_р$ определяют по формуле

$$H_р = H_{общ} - \left(H^{св}_{мин} + h_{мин}\right), \tag{4.179}$$

где $H^{св}_{мин}$ — свободный напор при минимальном расходе;
$h_{мин}$ — потери напора при минимальном расходе, обычно принимаемые равными 0,25 м.

Зная рабочую глубину и объем бака и задавшись площадью его нижнего сечения, можно из соотношения $F_в/F_н = q_{макс}/q_{мин}$ определить площадь верхнего сечения.

Иногда искомой величиной является продолжительность опорожнения бака $t_{оп}$. Ее находят по заданной вместимости бака и значениям расходов $q_{ср}$ и $q_{пр}$ исходя из полного цикла t работы бака:

$$t = t_{оп} + t_{нап}, \tag{4.180}$$

где $t_{нап}$ — продолжительность наполнения:

$$t_{нап} = W/q_{пр}. \tag{4.181}$$

Если вычисленное значение $t_{оп}$ не выходит из указанных ранее пределов, значит вместимость бака подобрана правильно. Если продолжительность получается большей, то расчет производят снова, задаваясь другими значениями высоты бака и расхода из разбрызгивателя.

Расчет сифона основан на законе Бойля — Мариотта. Действие сифона начинается тогда, когда избыточное давление $h_{изб}$ под колпаком достигает величины, соответствующей максимальному уровню воды в баке.

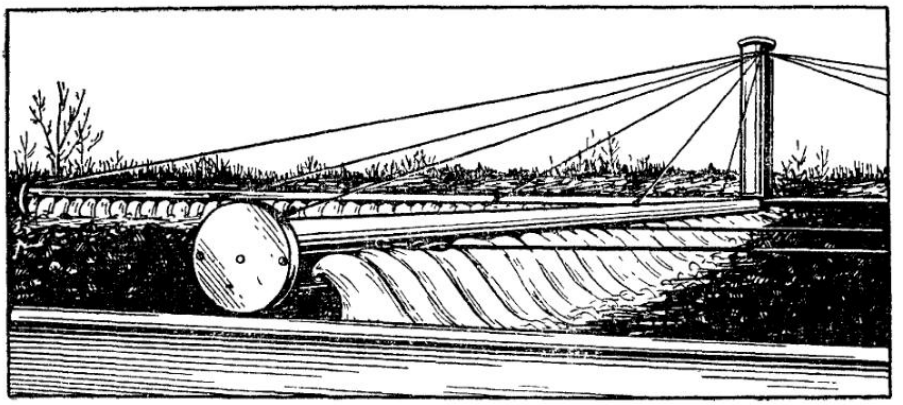


Рис. 4.100. Реактивный водораспределитель в действии

При рабочей высоте бака $H_р$ избыточное давление

$$h_{изб} = H_р - h_1, \qquad (4.182)$$

где h_1 — высота расположения верха разводящей трубы сифона над дном бака.

Регулирующая трубка (см. рис. 4.97) должна присоединяться к колоколу на высоте не менее $h_{изб}$, считая от колена B_2. Диаметр регулирующей трубки принимают равным 19 мм, а воздушной трубки — 25—38 мм.

Распределительную сеть укладывают или на специальные столбы, или прямо на фильтрующую загрузку на глубине 0,7—0,8 м от поверх-

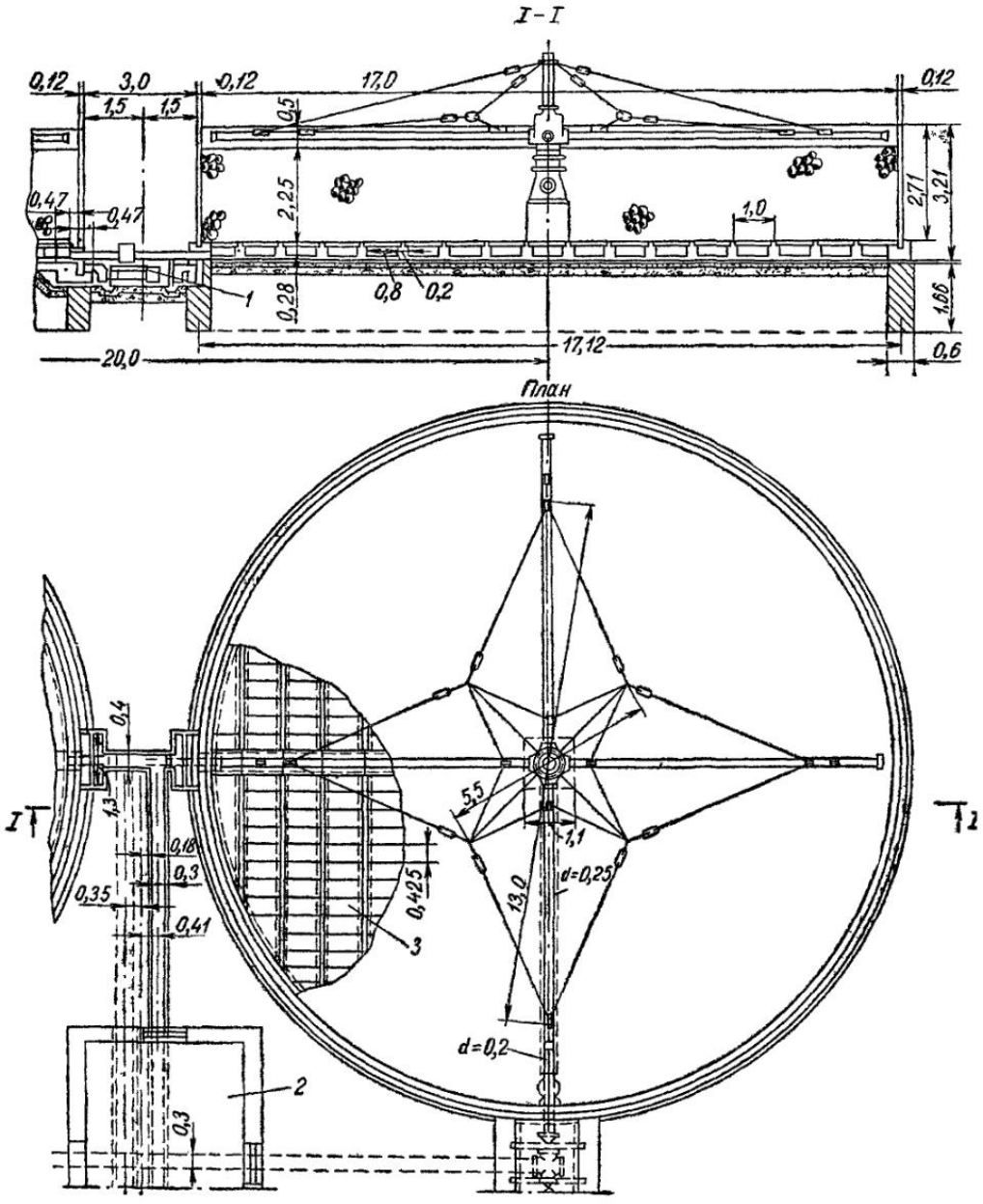


Рис. 4.101. Реактивный ороситель

1 — сборные железобетонные плиты, *2* — вентиляционная установка; *3* — сборные колосниковые плиты

ности биофильтра. Сеть укладывают с уклоном с тем, чтобы ее можно было опорожнить в случае необходимости. В конце каждой трубы целесообразно иметь пробку, через которую можно было бы промыть трубопровод чистой водой. Спринклерные головки устанавливают обычно на 0,15 м выше поверхности загрузки фильтра.

Реактивные вращающиеся водораспределители (оросители). Вращающийся ороситель состоит из двух или четырех дырчатых труб, консольно закрепленных на общем стояке (рис. 4.100).

Вода из распределительной камеры поступает под некоторым напором в стояк, установленный на шариковых подшипниках; стояк может свободно вращаться вокруг своей вертикальной оси. Из стояка вода поступает в радиально расположенные трубы и через отверстия в них выливается на поверхность биофильтра. Под действием реактивной силы, возникающей при истечении воды из отверстий, распределитель вращается.

Такие реактивные оросители получили большое распространение за рубежом (в Англии, ФРГ и Чехословакии) и вполне себя оправдали. У нас они применяются на очистных станциях во многих городах (Харькове, Славянске, Шереметьеве, Владимире и др.).

Союзводоканалниипроектом разработаны типовые проекты вращающихся оросителей для биофильтров диаметром 15, 21, 27 и 29 м (рис. 4.101).

Для приведения в действие реактивного оросителя необходим сравнительно небольшой напор (0,2—1 м), что является одним из достоинств этого устройства. Кроме того, при реактивных оросителях отпадает необходимость в устройстве дозаторов.

Диаметр отверстий в радиально расположенных трубах обычно колеблется от 10 до 15 мм; расстояние между отверстиями увеличивается от периферии к центру, что обеспечивает более равномерное орошение биофильтра.

§ 111. АЭРОТЕНКИ

Технологические показатели работы аэрационной системы

Эффективность процесса очистки в аэротенках, качественное состояние и окислительная способность активного ила определяются рядом условий, к которым относятся: состав и свойства сточных вод, гидродинамические условия перемешивания, соотношение количеств 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 до настоящего времени *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 характеризовать 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 ч, 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

$$B = \frac{(V_{аэр} + V_{кан})\, a_{ср} + V_{от.з}\, a'_{ср}}{П_р Q}, \qquad (4.183)$$

где $V_{аэр}$, $V_{кан}$, $V_{от.з}$ — объемы соответственно аэротенков, каналов и отстойных зон вторичных отстойников, м³;

$a_{ср}$ — средняя концентрация активного ила в аэротенках и каналах, кг/м³ (г/л);

$a'_{ср}$ — средняя концентрация активного ила в отстойной зоне вторичных отстойников, кг/м³ (г/л);

Q — объем очищаемой воды, м³/сутки;

$П_р$ — прирост активного ила, кг/м³.

Масса ила во вторичных отстойниках по сравнению с массой ила в аэротенках невелика, поэтому произведением $V_{от.з} a'_{ср}$ 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—120. Ил глубоко минерализованный может иметь индекс 60—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—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.

Влияние резкого изменения нагрузки на ил иллюстрируется рис. 4.102, из которого видно, что перегрузка переносится илом несколько легче, чем «голодание». Последнее обстоятельство быстро и резко приводит к «вспуханию» ила.

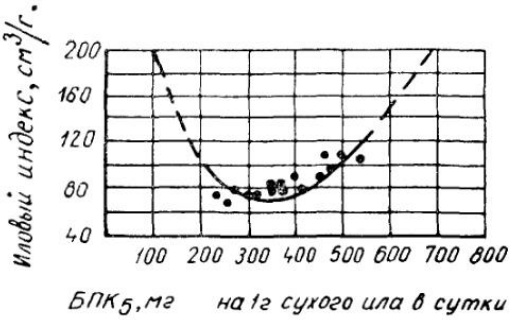


Рис. 4.102. Зависимость илового индекса от нагрузки на ил

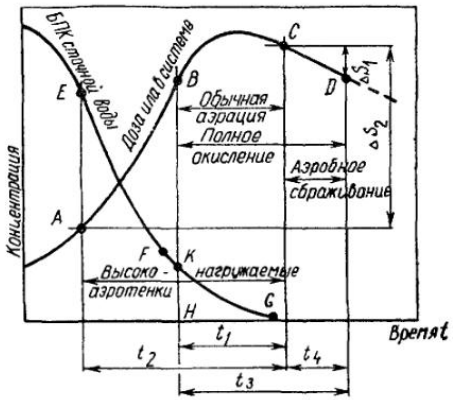


Рис. 4.103. Закономерность прироста ила и снижения БПК для различных процессов с активным илом

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.

Схематически представление о явлениях, сопутствующих очистке воды, показано на рис. 4.103.

В большинстве случаев характер и концентрация загрязнений сточных вод таковы, что процесс очистки в аэротенках осуществляется в соответствии с участком $B—C$ кривой изменения концентрации ила в системе. Нагрузки на ил в этих условиях составляют 150—400 мг $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества в сутки. Начальная БПК, равная ординате $K—H$, невелика; на процесс затрачивается период t_1, а в результате очистки происходит прирост ила ΔS_1.

Бо́льшая 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.*

При концентрированных сточных водах с начальной БПК более 500 мг/л процесс описывается участком кривой $A—C$ (см. рис. 4.103). Период обработки возрастает до t_2, а прирост ила в системе — до ΔS_2. Нагрузка на ил характеризуется величинами 400—1000 мг $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества в сутки.

Снижение БПК до определенного предела происходит приблизительно линейно в зависимости от концентрации ила и продолжительности

процесса. Ниже этого предела скорость окисления зависит от концентрации остающихся загрязнений. Потребление кислорода на участке *E—F* либо постоянно во времени, либо слегка возрастает. Ниже точки *F* скорость потребления кислорода быстро снижается и достигает уровня при эндогенном дыхании.

Если период обычной аэрации удлинить и аэрировать смесь в течение времени t_3, то концентрация ила в конце процесса обозначится точкой *D*, т. е. окажется равной концентрации ила в начале процесса. Иными словами, весь образовавшийся ил за время t_3 успеет минерализоваться. Этот процесс носит названия: полное окисление, полное самоокисление ила в аэротенках, длительная аэрация и т. п. В последнее время такой вариант обработки стоков нашел широкое распространение, особенно для небольших объемов сточных вод. Если исключить из системы очистных сооружений первичные отстойники (что вполне возможно), то при полном окислении ила в аэротенках отпадает необходимость в сооружениях по обработке осадков, кроме сооружений по подсушке минерализованного ила.

Теоретически невозможно провести указанный процесс так, чтобы минерализовать полностью весь образовавшийся ил, т. е. достигнуть величины $\Delta S=0$. Активный ил может быть окислен на 35—70% (по весу), остальная часть, состоящая в основном из биологически неокисляемых веществ, инертной биологической массы, накапливается в сооружении, а затем может быть удалена из него в виде залповых выносов. Такие залповые выносы биомассы снижают общесанитарный эффект очистки воды. Для аэротенков длительной аэрации нагрузка на ил находится на уровне 100—150 мг БПК на 1 г беззольного вещества в сутки.

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 м³ очищаемой воды, а также к 1 кг снятой БПК. При обработке городских сточных вод и пневматической системе аэрации удельный расход воздуха составляет соответственно 5—15 м³/м³ и 25—60 м³/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.

Основные схемы очистки сточных вод в аэротенках

В основные технологические схемы очистки сточных вод входят аэротенки одноступенчатые, аэротенки с регенераторами и аэротенки двухступенчатые.

Простейшая схема очистки сточных вод содержит одноступенчатые аэротенки (рис. 4.104). 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

$$Q\Pi_{\text{р}} + qa_{\text{возвр}} = (Q+q)\,a_{\text{аэр}}, \tag{4.184}$$

где Q и q — расходы соответственно сточной воды и возвратного ила, м³/сутки;

$a_{\text{возвр}}$ и $a_{\text{аэр}}$ — соответственно концентрации ила возвратного (или циркуляционного), направляемого в аэротенк после отстаивания, и в аэротенках, кг/м³ (г/л);

$\Pi_{\text{р}}$ — прирост ила, кг/м³ (г/л).

Если прирост ила мал по сравнению с величиной $a_{\text{аэр}}$, то значением произведения $Q\Pi_{\text{р}}$ можно пренебречь. Тогда

$$a_{\text{аэр}} = a_{\text{возвр}}\frac{q}{Q+q}. \tag{4.185}$$

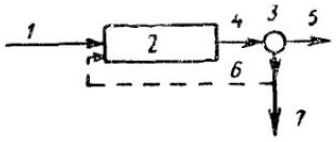


Рис. 4.104. Схема очистки сточных вод в одноступенчатых аэротенках

1 — сточная вода; *2* — аэротенк; *3*—вторичный отстойник, *4*—иловая смесь; *5* — очищенная сточная вода; *6* — возвратный активный ил; *7* — избыточный активный ил

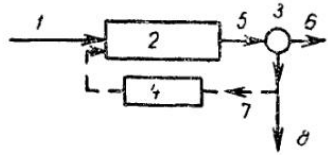


Рис. 4.105. Схема очистки сточных вод в одноступенчатых аэротенках с регенератором

1 — осветленная сточная вода; *2* — аэротенк; *3* — вторичный отстойник; *4*—регенератор; *5*—иловая смесь; *6* — очищенная сточная вода; *7* — возвратный активный ил; *8* — избыточный активный ил

Количество возвратного ила выражают в долях (α) от расхода очищаемой воды

$$\alpha = q/Q. \tag{4.186}$$

В практике эксплуатации пользуются также понятием *процента возвратного ила*, т. е. $\alpha \cdot 100\%$.

Приняв во внимание выражение (4.186), получим:

$$a_{\text{аэр}} = a_{\text{возвр}}\frac{\alpha}{1+\alpha} \tag{4.187}$$

или

$$\alpha = \frac{a_{\text{аэр}}}{a_{\text{возвр}} - a_{\text{аэр}}}. \tag{4.188}$$

При проектировании аэротенков α рекомендуется принимать 30—70%. Нетрудно видеть, что из этих рекомендаций следует:

$$a_{\text{возвр}} = (2{,}5 \ldots 4)\,a_{\text{аэр}}. \tag{4.189}$$

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 $a_{\text{возвр}}>8$ г/л, а $\alpha<0{,}3$. Снижение процента возвратного ила уменьшает затраты электроэнергии на перекачку ила. Более длительное его выдерживание в отстойниках (без аэрирования) обусловливает начало анаэробных процессов в иле, сопровождающихся выделе-

нием 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 технологической 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 (рис. 4.105). В основу схемы с аэротенками и регенераторами положена разница в скоростях двух процессов —

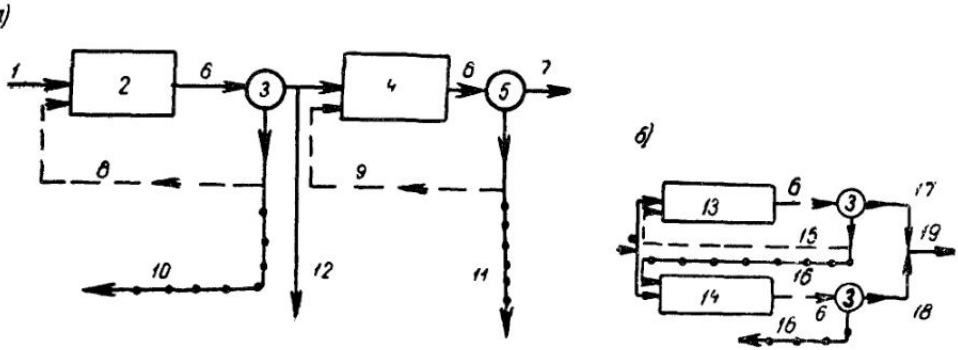


Рис. 4.106. Схема очистки сточных вод в двухступенчатых аэротенках без регенераторов

а — для полной очистки; *б* — для частичной очистки по методу активированной аэрации; *1* — осветленная сточная вода; *2* и *4* — аэротенки I и II ступени; *3* и *5* — отстойники I и II ступени; *6* — иловая смесь; *7* — очищенная сточная вода; *8* и *9* — возвратный активный ил I и II ступени; *10* и *11*—избыточный активный ил I и II ступени; *12* — аварийный выпуск; *13* и *14* — аэротенки обычной и активированной аэрации; *15* и *16* — возвратный и избыточный активный ил; *17* и *18* — сток полной и неполной очистки; *19* — выпуск общего стока

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 $a_{возвр} > a_{аэр}$, 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 (рис. 4.106, *а*). В аэротенках I ступени БПК сточных вод снижается на

50—70%, что обычно учитывается при проектировании. Неполностью 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 некоторые специалисты рекомендуют направлять его избыток в аэротенки I ступени.

Двухступенчатая схема очистки нашла применение при обработке сточных вод нефтехимических производств. В составе этих стоков имеются трудно окисляемые углеводороды, которые практически совсем не утилизируются микроорганизмами, если процесс ведется в одноступенчатом аэротенке. Активный ил усваивает лишь легко окисляемые вещества, в связи с чем общий эффект очистки стоков недостаточен. Если же процесс провести в две ступени, то во II ступени ил адаптируется к использованию трудноокисляемых углеводородов, а окончательный эффект очистки может быть доведен до очень высокой степени.

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 слабоконцентрированных 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%.

Слабоконцентрированные по взвешенным веществам сточные воды могут поступать в аэротенки без предварительного отстаивания. Эксплуатация очистных сооружений в этом случае упрощается.

Кроме приведенных выше основных технологических схем работы аэротенков в практике встречаются и другие их разновидности. В частности, заслуживает внимания схема комбинированной частичной очистки сточных вод (рис. 4.106, *б*), известная за рубежом как «активированная аэрация».

По этой схеме полной очистке в обычных одноступенчатых аэротенках подвергается только часть сточных вод. Эти аэротенки обслуживаются отдельным вторичным отстойником, из которого они получают необходимую массу активного ила. Остальное количество сточных вод направляется для частичной очистки в обособленные аэротенки, куда поступает также избыточный активный ил из отстойников первой системы.

Осадок из вторичных отстойников второй системы не используется в качестве активного ила, а направляется для последующей обработки. Выходящая из аэротенков второй системы частично очищенная сточная вода после отстаивания смешивается с полностью очищенной водой.

Общее снижение $БПК_{полн}$ сточных вод по приведенной схеме очистки достигает 80—85%.

Любая из описанных схем очистки воды может быть осуществлена с применением аэротенков, имеющих различную структуру потоков.

По структуре потоков различают:

аэротенки-вытеснители (см. рис. 4.104), в которые сточная вода и возвратный ил впускаются сосредоточенно с одной из торцовых сторон аэротенка и выходят также сосредоточенно с другой торцовой стороны сооружения;

аэротенки-смесители (рис. 4.107, *а*), в которых подвод и отвод сточной воды и ила осуществляется равномерно вдоль длинных сторон ко-

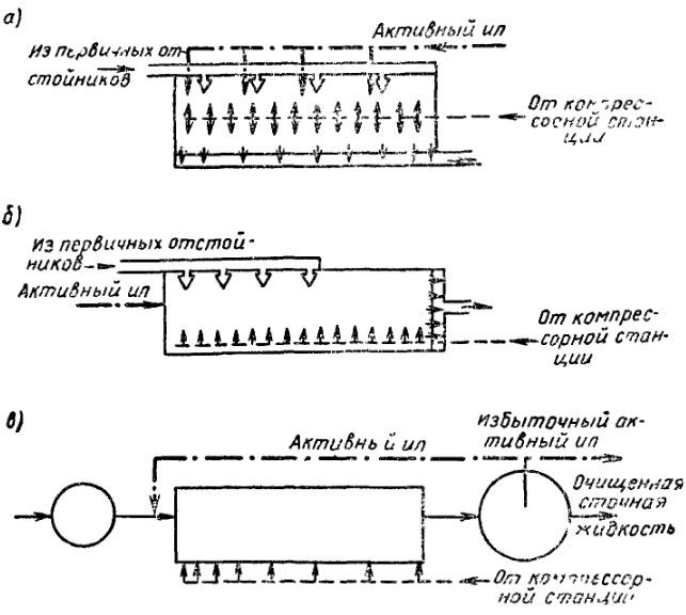


Рис. 4.107. Схемы очистки сточных вод в аэротенках, отличающихся структурой потоков

ридора аэротенка; при этом считается, что происходит полное смешение поступающей сточной воды с находящейся в аэротенке;

аэротенки с рассредоточенной подачей сточной воды (рис. 4.107, *б*), в которых последняя подводится в нескольких точках по длине аэротенка, а отводится сосредоточенно в его торцовой части; возвратный ил подается сосредоточенно в начало аэротенка.

Таблица 4.49

Расчетные параметры аэротенков с нелинейно рассредоточенным впуском воды

Условные обозначения типа аэротенков	Ширина коридора, м	Рабочая глубина, м	Пределы изменения габаритов одной секции		Оптимальные пределы применимости	
			длины, м	рабочего объема, м³	число секций, шт	пропускная способность очистной станции, тыс. м³/с
АНР-2-6,0-4,4	6	4,4	36—78	1900—4120	3—6	25—70
АНР-2-9,0-4,4	9	4,4	36—90	2850—7120	3—6	35—140
АНР-4-6,0-4,4	6	4,4	90—120	9500—12 660	3—6	100—280
АНР-4-9,0-4,4	9	4,4	90—120	14 250—19 000	3—6	140—280 и более
АНР-4-9,0-5,0	9	5	90—120	16 200—21 600	3—6	140—280 и более
АНР(м)-12-4,4	12	4,4	36—72	1900—3800	3—6	25—50

В табл. 4.49 представлены параметры аэротенков с нелинейно рассредоточенной подачей сточной воды.

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 (рис. 4.107, *в*). Однако из-за технических трудностей, связанных с осуществлением такого распределения, этот аэротенк распространения не получил.

Расчет аэротенков

Расчет аэротенков включает определение вместимости сооружения, объема требуемого воздуха и избыточного активного ила, удаляемого из аэрационной системы для последующей обработки.

В отечественной практике при проектировании сооружений в течение почти 40 лет (начиная с 1934 г.) использовался метод, разработанный крупным советским ученым К. Н. Корольковым. С 1974 г. расчет аэротенков проводится по формулам, созданным в результате обобщения большого числа научно-исследовательских работ, в которых были решены принципиальные вопросы теории, а также огромного накопленного опыта эксплуатации аэротенков различных схем и конструкций при обработке в них самых разнообразных по качеству и объему сточных вод.

Знакомство с теорией расчета аэротенков, по К. Н. Королькову, представляет интерес прежде всего потому, что многие положения, высказанные автором предположительно, полностью подтвердились последующими исследованиями и не утеряли своего значения до настоящего времени.

Расчет аэротенков по К. Н. Королькову

I способ расчета. К. Н. Корольков считал, что процесс очистки сточных вод в аэротенках состоит из двух фаз: первой фазы, которая включает изъятие и окисление органических веществ, фиксируемых БПК, и второй фазы — нитрификации аммонийных солей, т. е. перевода их в нитриты и нитраты.

Автор исходил из того, что при проведении первой фазы, которую он называл неполной или частичной очисткой, независимо от конечной БПК, технически важна возможность полного отсутствия растворенного кислорода. При проведении второй фазы, названной им полной очисткой, наличие в среде растворенного кислорода принималось безусловно необходимым. Полностью очищенной считалась такая вода, в которой остаточная БПК компенсировалась наличием свободного (растворенного) и связанного кислорода (в составе нитритов и нитратов). Такая вода при сколь угодно длительном хранении не загнивает.

К. Н. Корольков писал, что процесс потребления кислорода активным илом почти не изучен, и принимал в качестве исходного положения, что скорость потребления кислорода пропорциональна скорости снижения БПК. Составив затем уравнение массопередачи кислорода в сточную воду и приравняв массу кислорода снимаемой БПК, К. Н. Корольков получил выражение для подсчета продолжительности аэрации (т. е. времени, за которое в воду поступит масса кислорода, равная снимаемой БПК) и объема воздуха, который нужно продуть через сточную воду, чтобы обеспечить поступление в нее этой массы кислорода.

Для составления уравнения массопередачи принято, что масса кислорода, которая растворяется в воде, пропорциональна площади поверхности соприкосновения жидкой и газовой фаз, а также дефициту кислорода (массе кислорода, которой не хватает до полного насыщения сточной воды):

$$dM = k_1 A (c - x)\, dt, \tag{4.190}$$

где M — масса кислорода, переходящего в сточную воду;
k_1 — коэффициент пропорциональности;
A — поверхность соприкосновения воды и воздуха;
c — максимально возможная концентрация кислорода в сточной воде при заданных условиях, в частности по температуре;
x — концентрация кислорода в сточной воде.

Из собственных опытных наблюдений автор нашел, что суммарная площадь поверхности пузырьков A обратно пропорциональна их диаметру и прямо пропорциональна их числу. Если диаметр пузырьков постоянен, то A прямо пропорциональна объему воздуха V, пропускаемого в единицу времени. Время соприкосновения отдельного пузырька воздуха, поднимающегося в воде, зависит от пути, который он проходит в воде, и от скорости подъема. В качестве первого приближения было принято, что путь пузырька над аэратором равен высоте слоя воды H. Скорость подъема пузырьков для изученных автором аэраторов оказалась постоянной. Следовательно,

$$A = k_2 VH, \tag{4.191}$$

где k_2 — константа, зависящая от типа аэратора.

Подставляя значение A в уравнение (4.190), имеем:

$$dM = k_1 k_2 VH (c - x)\, dt. \tag{4.192}$$

Абсолютное значение c увеличивается с увеличением глубины аэротенка, так как пузырьки воздуха испытывают дополнительное давление столба воды. Однако с увеличением растворимости уменьшается поверхность соприкосновения воды и воздуха A, так что произведение Ac в пределах изменения H от 2 до 5 м остается практически постоянным (колебания составляют не более 3%). Поэтому поправка на изменение величины c в зависимости от глубины аэротенка не вводится.

В расчетах не учитывается также обеднение пузырька воздуха кислородом по пути движения, так как эта поправка мала (в большинстве случаев использование кислорода не превышает 4—7% первоначального количества).

Перейдя от количества кислорода dM к его концентрации $dx = \frac{dM}{W}$ (где W — объем аэротенка), имеем:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k_1 k_2 VH (c - x)}{W}. \tag{4.193}$$

Взамен выражения $(c-x)$ можно написать cd (где d — дефицит кислорода, выраженный в долях единицы от максимального насыщения), т. е. $(c-x)/c = d$; отсюда

$$c - x = cd. \tag{4.194}$$

Обозначив произведение группы постоянных k_1k_2c буквой K, имеем:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{KVHd}{W}, \tag{4.195}$$

где K — константа, зависящая от вида аэратора (от его диспергирующей способности) и уже не зависящая от температуры сточной воды.

Приняв далее исходное положение о пропорциональности (и даже равенстве) скоростей растворения кислорода и его потребления, получим окончательную дифференциальную форму расчетного уравнения К. Н. Королькова:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{KVHd}{W}. \tag{4.196}$$

Решая уравнение

$$\int_{L_a}^{L_t} dL = \int_0^t \frac{KVHd}{W}\, dt, \tag{4.197}$$

получим:

$$L_a - L_t = \frac{KVHd}{W}\, t + \text{const}. \tag{4.198}$$

Здесь L_a и L_t — начальная и конечная БПК сточной воды;
const — константа интегрирования.

Нетрудно видеть, что константа интегрирования равна нулю, так как при $t=0$ $L_a=L_t$ и, следовательно, const$=0$.

Небольшие преобразования уравнения (4.198) путем использования выражений $W=Qt$, $W=FH$, $V=QD$ и $I=V/F$ позволяют окончательно получить:

$$D = \frac{L_a - L_t}{KHd}; \tag{4.1995}$$

$$t = \frac{L_a - L_t}{KId}, \tag{4.200}$$

где F — площадь аэротенка в плане, м^2;
D — количество воздуха, приходящегося на 1 м^3 обрабатываемой воды, м^3/м^3;
I — интенсивность аэрации или объем воздуха, продуваемого через единицу площади в единицу времени, м^3/(м^2·ч) (физический смысл — скорость продувки воздуха, м/ч).

В окончательные формулы входит средний дефицит кислорода.

К. Н. Корольков утверждал, что при работе на частичную очистку (напомним, что в это понятие включена и общепринятая так называемая полная очистка) без нарушения процесса можно принять $d=1$, что означает отсутствие растворенного кислорода.

Для аэротенков, работающих на первую фазу, т. е. на снижение БПК, К. Н. Корольковым предложены формулы:

$$D = \frac{L_a - L_t}{KH}; \tag{4.201}$$

$$t = \frac{L_a - L_t}{KI}. \tag{4.202}$$

Если же аэротенк работает на обе фазы, т. е. включая процесс нитрификации, то в этом случае необходимо предусмотреть наличие рас-

творенного кислорода. К. Н. Корольков принял, что количество кислорода для процесса с нитрификацией должно в среднем составлять 50% максимального, т. е. $d=0{,}5$. Кроме того, было принято, что $L_t=0$, так как эта величина мала по сравнению с L_a (а оставшаяся БПК полностью стабилизируется запасом кислорода в очищенной воде).

В силу этих соображений уравнения (4.201) и (4.202) трансформируются в следующие:

$$D=\frac{2L_a}{KH}; \tag{4.201а}$$

$$t=\frac{2L_a}{KI}. \tag{4.202а}$$

Физический смысл константы аэратора K легко определяется из выражения

$$K=\frac{L_a-L_t}{DHd}. \tag{4.203}$$

Если продувать воздух через слой воды 1 м из расчета 1 м^3 воздуха на 1 м^3 воды, то численно константа аэратора окажется равной снятой БПК при условии полного дефицита кислорода в воде. Путем собственных наблюдений автор нашел, что при подаче воздуха через дырчатые трубы численное значение $K=6\ldots7$ г/м^4, а через пористые пластины $K=15\ldots18$ г/м^4.

Для определения интенсивности аэрации автором было принято, что скорость растворения кислорода, равная $\frac{L_a-L_t}{t}$, по уравнению (4.200) может быть приравнена KId. В то же время скорость потребления кислорода пропорциональна снимаемой БПК, т. е. k_tL. Приравняв скорости растворения кислорода и его потребления, получим:

$$KId=k_tL. \tag{4.204}$$

Уравнение (4.204) связывает интенсивность аэрации, БПК сточной воды в данный момент и дефицит кислорода. При условии $d=1$ интенсивность аэрации определяется из того соображения, что L в формуле (4.204) не может быть больше L_t, так как в противном случае в среде появится растворенный кислород. Следовательно,

$$I=\frac{2{,}3\,kL_t}{K}. \tag{4.205}$$

Переводной коэффициент появился потому, что практические расчеты удобнее вести из численного значения константы скорости, выраженной в десятичных логарифмах.

По уравнению (4.205), зная численные значения констант k и K, можно подсчитать интенсивность аэрации в аэротенке, работающем на снижение БПК. Таким образом, расчетными уравнениями для аэротенка, работающего на снижение БПК, являются уравнения (4.201), (4.202) и (4.205).

Сложнее определяется интенсивность аэрации при очистке воды на обе фазы, т. е. с нитрификацией органических загрязнений. Эта интенсивность аэрации не должна быть больше чем

$$I_{\text{макс}}=\frac{2{,}3\,kL_a}{K} \tag{4.206}$$

К. Н. Корольковым было составлено уравнение для определения расчетной интенсивности аэрации:

$$I_{\text{р}}=\frac{kL_a}{K\left(\lg\frac{KI_{\text{р}}}{2{,}3L_tk}-0{,}434\right)}. \tag{4.207}$$

Это уравнение сложно для расчетов и «не окупается точностью известных значений K при изменениях температуры и концентрации активного ила» (К. Н. Корольков). Им были подсчитаны значения $I_р$ по формуле (4.207) и $I_{макс}$ по формуле (4.206) для условий $L_t=10$ мг/л, $k=0{,}16$ и $K=15$ (табл. 4.50).

Таблица 4.50

Интенсивности аэрации, рассчитанные по формулам К. Н. Королькова

Показатель	При L_a, мг/л			
	200	300	400	500
$I_р$, м³/(м³·ч)	3,2	4,3	5	5,8
$i_{макс}$, м³/(м³·ч)	4,9	7,4	9,9	12,3
$I_р/I_{макс}$	0,65	0,58	0,51	0,47

Из табл. 4.50 видно, что расчетная интенсивность аэрации составляет около 0,5—0,7 от интенсивности максимальной. Учитывая недостаточную точность всех остальных параметров, наиболее простой путь определения необходимой интенсивности заключается в том, что по формуле (4.206) подсчитывают $I_{макс}$ и принимают от нее 50—70%.

В расчетные формулы интенсивности входит величина константы скорости потребления кислорода k, которая определяется как функция концентрации ила и температуры процесса. Эта зависимость получена экспериментальным путем и равна:

$$k_t = 0{,}075\, a \cdot 1{,}078^T , \qquad (4.208)$$

где a — доза ила, г/л;

T — температура воды, °С.

Константа k, входящая в формулы (4.205) и (4.206), связана с величиной k_t соотношением

$$k = k_t/2{,}3. \qquad (4.20)$$

Для бытовых сточных вод при температуре 10° С и дозе ила $a=2{,}3$ г/л величина $k_t=0{,}37$, а величина $k=0{,}16$. Позднее для всех расчетов сооружений биологической очистки было принято значение $k=0{,}16$.

II способ расчета учитывал более сложный характер кинетики процесса очистки сточных вод в аэротенках, заключающийся в том, что не для всего периода этого процесса справедливо равенство скоростей растворения кислорода и его потребления. Было признано, что и в ходе первой фазы (окисления углеродсодержащих веществ) процесс можно разделить на две стадии, которые протекают по разным кинетическим зависимостям. К. Н. Корольковым было предложено рассматривать начало процесса как реакцию нулевого порядка, т. е. независимой от концентрации загрязнений, и конец процесса как реакцию первого порядка относительно концентрации загрязнений по БПК. Изменение характера кинетики происходит в какой-то промежуточной точке, соответствующей БПК, равной I_b. На снижение БПК с L_a до L_b затрачивается время t, и в этот период справедливо основное положение, т. е.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dL}{dt} .$$

Иными словами, процесс может происходить в отсутствии растворенного кислорода при $d=1$.

Следовательно, для снижения БПК с L_a до L_b справедливы формулы (4.201) и (4.202), которые можно переписать следующим образом:

$$D_1 = \frac{L_a - L_b}{KH}; \qquad (4.210)$$

$$t_1 = \frac{L_a - L_b}{KI}. \tag{4.211}$$

Когда питательных веществ остается мало, то скорость реакции становится функцией концентрации остающихся загрязнений по типу мономолекулярной реакции

$$\frac{dL}{dt} = -k_t L. \tag{4.212}$$

Решение этого уравнения дает следующий результат:

$$t_2 = \frac{1}{k} \lg \frac{L_b}{L_t}. \tag{4.213}$$

Таким образом, суммарно на весь процесс снижения БПК от L_a до L_t затрачивается время $t_{общ}$, равное сумме $t_1 + t_2$. Тогда

$$t_{общ} = \frac{L_a - L_b}{KI} + \frac{1}{k} \lg \frac{L_b}{L_t}. \tag{4.214}$$

Для определения количества потребного воздуха на вторую фазу очистки условие наличия растворенного кислорода записывается как $d = 0{,}5$. Следовательно, расход воздуха

$$D_2 = \frac{L_b - L_t}{KH \cdot 0{,}5} = \frac{2(L_b - L_t)}{KH}. \tag{4.215}$$

Общее количество воздуха равно сумме расходов в каждой ступени (при $L_t = 0$):

$$D_{общ} = D_1 + D_2 = \frac{L_a + L_b}{KH}. \tag{4.216}$$

Для практического применения формул (4.214) и (4.216) необходимо знание L_b — промежуточного значения БПК, когда изменяется кинетика реакций. Этот вопрос К. Н. Корольковым решен не был.

Из уравнения (4.214) можно определить интенсивность аэрации на первой стадии процесса, когда $L_t = L_b$, т. е.

$$I_1 = \frac{2{,}3kL_b}{K}, \tag{4.217}$$

при этом определение L_b должно быть выполнено из каких-то дополнительных условий. Несколько позднее Н. А. Базякиной было найдено, что изменение кинетики реакций происходит после обработки 65% загрязнений по БПК, т.е.

$$L_b = 0{,}35\, L_a. \tag{4.218}$$

Если сравнить расчетные формулы I и II способов (на неполную очистку по К. Н. Королькову), то можно видеть, что расчет по II способу всегда приведет к более высоким значениям и по продолжительности процесса, и по расходу воздуха.

Хотя расчет по II способу более близок к основным принципиальным положениям кинетики ферментативных реакций, он почти не применялся из-за недостаточной точности определения таких параметров, как константа скорости потребления кислорода, промежуточное значение БПК, когда следует перейти от реакции нулевого порядка к первому, и т. п.

Основные формулы К. Н. Королькова в течение многих лет использовались при всех расчетах аэрационных сооружений, однако с тем изменением, что для первой фазы очистки, т. е. фазы снижения БПК (или

окисления углеродсодержащих соединений), были приняты формулы, предназначавшиеся автором для аэротенков, в которых идет процесс нитрификации. Эти принципиальные изменения были сделаны в связи с тем, что по эксплуатационным данным и по результатам исследований оказалось, что для надежной и устойчивой работы аэротенков растворенный кислород должен присутствовать в смеси сточной воды и ила, особенно если требуется высокая степень очистки воды — до БПК, равной 15—20 мг/л. Наличие растворенного кислорода должно было также обеспечить потребности в нем активного ила во время отстаивания его во вторичных отстойниках. Это условие нашло отражение во II способе расчета, который К. Н. Корольков опубликовал также в 1934 г. Претерпело изменения и численное значение K. Оно было принято равным 12 г/м^4, т. е. в 1,25—1,5 раза меньше, чем по исследованиям К. Н. Королькова.

Расчет аэротенков по Н. А. Базякиной

Развитием расчетной теории К. Н. Королькова явилось предложение Н. А. Базякиной об определении продолжительности процесса по экспериментально найденным величинам скоростей окисления загрязнений.

Н. А. Базякина показала, что скорость окисления B, мг/(л·ч), пропорциональна дозе ила a, т. е.

$$B = \beta a. \tag{4.219}$$

Найдено, что при очистке сточной воды от L_a до L_b величина $\beta_1 = 31$ мг/(г·ч), а от L_b до L_t величина $\beta_2 = 10$ мг/(г·ч). Указанные величины описывают кинетику процесса очистки городских сточных вод, а в случае очистки сточных вод иного характера эти данные должны быть получены экспериментальным путем.

Доза ила в смеси не может быть очень высокой, она лимитируется возможностью работы вторичного отстойника. Данные эксплуатации показывают, что доза ила в смеси, поступающей на отстаивание, не должна быть выше 1,5—3 г/л. Это означает, что расчетные скорости на I стадии могут составлять 46—93 мг/(л·ч) и на II стадии — 15—30 мг/(л·ч).

Таким образом, общая продолжительность обработки сточной воды

$$t_{\text{общ}} = t_1 + t_2 = \left(\frac{0{,}65}{B_1} + \frac{0{,}35}{B_2}\right) L_a. \tag{4.220}$$

Интенсивность аэрации I_1 определяется из уравнений:
на I стадии

$$I_1 = \frac{B_1}{3dp}; \tag{4.221}$$

на II стадии

$$I_2 = \frac{B_2}{3dp}, \tag{4.222}$$

где p — использование кислорода, %;
d — дефицит кислорода, принимаемый равным на I стадии 0,8 и на II стадии 0,5.

Скорость окисления B можно представить в виде равенства

$$B = \frac{V \cdot 0{,}2099sn}{W \cdot 100}, \tag{4.223}$$

где s — масса 1 л кислорода, равна 1429 мг/л;
n — использование кислорода, %;
0,2099 — доля объема кислорода в воздухе;
100 — коэффициент для перевода величины n в доли единицы.

Так как $\frac{0{,}2099 \cdot 5}{100} = 3$, то

$$B = \frac{3nV}{W}. \tag{4.224}$$

Преобразуем

$$\frac{V}{W} = \frac{V}{FH} = \frac{I}{H},$$

откуда

$$I = \frac{BH}{3n}. \tag{4.225}$$

Решая совместно уравнения (4.199) и (4.200) относительно D, равного V/Q, получим: $L_a - L_t = KIdt$, тогда

$$D = \frac{KIdt}{KHd} = \frac{It}{H}. \tag{4.226}$$

Подставим в уравнение (4.226) выражение (4.225):

$$D = \frac{BHt}{3nH} = \frac{Bt}{3n}. \tag{4.227}$$

Так как $Bt = L_a - L_t$, то

$$D = \frac{L_a - L_t}{3n}. \tag{4.228}$$

Сравнивая знаменатели в уравнениях (4.228) и (4.226), имеем:

$$3n = KHd \tag{4.229}$$

или

$$n = \frac{K}{3} Hd = pHd. \tag{4.230}$$

Величина $K/3$ — коэффициент использования воздуха в % при условии $H = 1$ м и $d = 1$ м. Если $K = 12$, то $p = 4\%$.

Чтобы перейти к окончательным уравнениям вида (4.221) и (4.222), подставим в уравнение (4.225) значение n по формуле (4.230):

$$I = \frac{BH}{3n} = \frac{BH}{3pHd} = \frac{B}{3pd}.$$

Основное отличие расчета аэротенков по Н. А. Базякиной от расчетов по К. Н. Королькову заключается во введении обобщенного показателя — скорости окисления. В применении к аэротенку-смесителю скорость окисления является величиной, постоянной во времени; в приложении к аэротенку-вытеснителю она разбивается на ряд участков, на которых происходит скачкообразное ее изменение. В показанном выше примере в применении к городским сточным водам экспериментально найдены два таких участка, характеризующихся величинами β_1 и β_2.

Исследования последующих лет показали, что окисление загрязнений далеко не всегда может быть удовлетворительно описано только двумя величинами β_1 и β_2. Изменяются абсолютные значения скоростей процессов и соотношение частей загрязнений, окисляемых со скоростя-

ми, присущими I и II стадии, а потому экспериментальному началу в расчетах придается все большее значение. Процесс очистки сточных вод чаще описывают одной средней скоростью процесса, включая все стадии. В частности, в процессах длительного аэрирования таких стадий может быть более четырех. Однако переход к суммарным скоростям процессов в нашей расчетной практике узаконен только в 1974 г. До этого развитие исследований все еще продолжалось в направлении дальнейшего усложнения расчетных формул. Так, способ, предложенный И. С. Постниковым с сотрудниками (АКХ им. К. Д. Памфилова), в основе сходный с расчетом Н. А. Базякиной, позволял учесть влияние еще ряда факторов — температуры, исходной концентрации смеси по БПК и т. п. Учет их влияния выполнен путем введения ряда экспериментально найденных коэффициентов. Точность экспериментального определения коэффициентов (а их в формуле шесть) не была очень высокой, вследствие чего этот метод расчета имел ограниченное применение.

Обобщенный метод расчета аэротенков

Продолжительность аэрации в аэротенках t, *ч*, всех типов определяется по формуле

$$t = \frac{L_a - L_t}{a\,(1 - З_и)\,\rho}, \qquad (4.231)$$

где L_a и L_t — $БПК_{полн}$ поступающей в аэротенк и очищенной в нем сточной воды, мг/л;

a — доза ила по сухому веществу, г/л;

$З_и$ — зольность ила, выраженная в долях единицы;

ρ — скорость окисления, в мг $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч.

Рабочий объем аэротенка

$$W = tQ/24, \qquad (4.232)$$

где Q — расчетный расход воды, м³/сутки.

За расчетный расход принимают среднечасовой приток в течение суток, если коэффициент $K_{общ} \leqslant 1{,}25$. Если $K_{общ} > 1{,}25$, то подсчитывается среднечасовой приток за период, равный продолжительности аэрации в часы максимального поступления воды в аэротенки.

При составлении формулы (4.231) принято, что мерой активной части ила может служить беззольное вещество активного ила. Число клеток и их масса, а также активность клеток находятся в разной взаимозависимости на разных стадиях развития микробиальной культуры, а потому одно и то же количество беззольной массы ила может иметь неодинаковую скорость окисления.

В формуле (4.231) принято также, что общая скорость окисления тем выше, чем больше концентрация ила. Это условие в действительности выражается более сложной зависимостью, так как величина ρ, в свою очередь, является функцией величины a. Очевидно, чем больше ила в системе, тем меньше продолжительность процесса очистки, а также требуемый объем сооружения. Но выше указывалось, что концентрация ила в смеси, поступающей на отстаивание, лимитируется эффективностью работы вторичных отстойников и не должна превышать 1,5—3 г/л. Дозу ила рекомендуется принимать тем больше, чем выше исходная $БПК_{полн}$. При значении $L_a \leqslant 100$ мг/л величина a принимается равной 1,2 г/л, при $L_a = 100 \ldots 150$ мг/л $a = 1{,}5$ г/л, при $L_a = 150 \ldots 200$ мг/л

$a=1{,}8$ г/л, а при $L_a>200$ мг/л $a=1{,}8\ldots3$ г/л. В аэротенках с полной минерализацией ила $a=5$ г/л.

Зольность ила в аэротенках принимается равной 0,3, а при условии полной минерализации ила — 0,35.

Среднюю расчетную скорость окисления ρ для городских сточных вод принимают по табл. 4.51.

Таблица 4.51

Значения ρ, мг $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества в 1 ч для аэротенков-смесителей

L_a, мг/л	При L_t					
	15	20	25	30	40	50 и более
Для аэротенков без регенераторов при $a\leqslant1{,}8$ г/л						
100	20	22	24	27	35	47
200	22	24	28	32	42	57
Для аэротенков без регенераторов при $a>1{,}8$ г/л и аэротенков с регенераторами						
150	18	21	23	26	33	45
200	20	23	26	29	37	50
300	22	26	30	34	44	60
400	23	28	33	38	53	73
500 и более	24	29	35	41	58	82

Для промежуточных величин L_a и L_t значения ρ определяются путем интерполяции. Для аэротенков с полной минерализацией ρ принимается равной 4 мг $БПК_{полн}$ на 1 г беззольного вещества в 1 ч.

Значения t, подсчитанные по формуле (4.200), справедливы, если среднегодовая температура сточных вод $T=15°$ С. При других значениях температуры вычисленная величина t умножается на отношение $15/T$. Продолжительность аэрации принимают не менее 2 ч.

При проектировании аэротенков с регенераторами подсчитывают раздельно время, необходимое для очистки воды $t_{аэр}$, ч, общее время окисления загрязнений t_o, ч, и по разнице этих величин — время пребывания ила в регенераторе для окончания окислительных процессов переработки загрязнений $t_{рег}$, ч.

Расчеты ведут по формулам:

$$t_{аэр}=\frac{2{,}5}{a_{аэр}^{0{,}5}}\lg\frac{L_a}{L_t}; \tag{4.233}$$

$$t_o=\frac{L_a-L_t}{\alpha a_{рег}(1-З_и)\rho}; \tag{4.234}$$

$$\alpha=\frac{a_{аэр}}{a_{рег}-a_{аэр}}; \tag{4.235}$$

$$t_{рег}=t_o-t_{аэр}, \tag{4.236}$$

где $a_{аэр}$ и $a_{рег}$ — дозы ила соответственно в аэротенке и регенераторе, г/л;

α — доля расхода циркулирующего ила q от расчетного расхода сточных вод Q, т. е. $\alpha=q/Q$.

Численные значения $a_{аэр}$ и $a_{рег}$ 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 бóльшие количества загрязнений, либо достигать более глубокого их окисления.

Объемы сооружений подсчитываются по формулам:

$$W_{аэр} = t_{аэр}(Q + q); \tag{4.237}$$

$$W_{рег} = t_{рег}\, q; \tag{4.238}$$

$$W = W_{аэр} + W_{рег}, \tag{4.239}$$

где $W_{аэр}$ и $W_{рег}$ — объем соответственно аэротенка и регенератора, м³;

W — общий объем системы, м³.

Для системы аэротенка с регенератором расчетная продолжительность пребывания воды в системе составляет:

$$t = t_{аэр}(1 + \alpha) + t_{рег}\,\alpha. \tag{4.240}$$

Это время может быть определено и из формулы (4.231) при значении a, равном средней концентрации ила $a_{ср}$ в сооружении, т. е.

$$a_{ср} = \frac{a_{аэр} W_{аэр} + a_{рег} W_{рег}}{W}. \tag{4.241}$$

При проектировании двухступенчатых аэротенков расчеты ведут по формуле (4.231), при этом принимают, что в I ступени снимается 50% загрязнений, а во II ступени оставшиеся 50%. Величины $\rho_{1,2}$ принимают по табл. 4.51.

Удельный расход воздуха D, м³/м³, при очистке в аэротенках определяют отношением расхода кислорода, требующегося для обработки 1 м³ воды, к расходу используемого кислорода с 1 м³ подаваемого воздуха:

$$D = \frac{z(L_a - L_t)}{k_1 k_2 n_1 n_2 (C_p - C)}, \tag{4.242}$$

где z — удельный расход кислорода, мг/мг снятой $БПК_{полн}$;

k_1 — коэффициент для учета типа аэратора, определяемый по табл. 4.52 (см. далее с. 372);

k_2 — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора и определяемый по табл. 4.53 (см. далее с. 373);

n_1 — коэффициент для учета температуры сточных вод, определяемый по формуле

$$n_1 = 1 + 0{,}02\,(T - 20);$$

T — среднемесячная температура сточной воды за летний период, °С;

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);

$C_р$ — растворимость кислорода в зависимости от глубины слоя воды h над аэратором, мг/л:

$$C_р = C_т \frac{10{,}3 + (h/2)}{10{,}3};$$

$C_т$ — растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и давления, мг/л, принимаемая по таблицам растворимости;

C — допустимая минимальная концентрация растворенного кислорода в аэротенке, мг/л.

Относительно численного значения коэффициента z существует несколько мнений. Считается, например, что за величину z должна быть принята только та часть $БПК_{полн}$, которая расходуется на энергетические потребности в процессах обмена [по реакции (4.140) схемы превращений вещества]. Кислород же, требуемый для реакции (4.141) той же схемы, поставляется из окисляемого органического вещества, углекислоты и воды. Расход кислорода, затрачиваемого на самоокисление ила, учитывается отдельно и прибавляется к расходу кислорода, вычисленному по реакции (4.140).

Кроме того, вследствие сброса избыточного ила из аэрационной системы, в котором исходные вещества окислены не полностью и, следовательно, на их окисление не было истрачено теоретического количества кислорода, общий расход последнего должен быть меньше снимаемой $БПК_{полн}$.

Части $БПК_{полн}$, затрачиваемые на потребности энергии и синтеза, зависят от химической природы вещества и могут изменяться в широких пределах. Для стоков типа городских часть $БПК_{полн}$ по реакции (4.140) обычно принимается равной (0,6 ... 0,7) $БПК_{полн}$.

Для выяснения этого приципиального вопроса были дважды выполнены специальные исследования с интервалом 20 лет — вначале Н. А. Базякиной, а затем группой сотрудников МИСИ им. В. В. Куйбышева (С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина, Э. П. Доскина). Замер количества потребленного кислорода проводился в обоих случаях прямым способом по регистрации состава воздуха, поступающего в сооружение и выходящего из него. Эти исследования дали согласованные результаты и 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, для аэротенков с полной минерализацией ила — 2,2 мг/мг.

Коэффициент k_1 (табл. 4.52) учитывает условия массопередачи кислорода из воздуха в сточную воду в зависимости от вида пневматической аэрации (мелко- или среднепузырчатой), а также от отношения площади аэрируемой зоны f к площади аэротенка F. Величина f принимается по площади, занимаемой аэраторами. Просветы между аэраторами включаются в площадь аэрируемой зоны.

Таблица 4.52

Значения коэффициента k_1 и интенсивности аэрации $I_{макс}$

Показатель	При f/F							
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
k_1	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2	2,13	2,3
$I_{макс}$, $м^3/(м^2 \cdot ч)$	5	10	20	30	40	50	75	100

Примечание. Для «среднепузырчатых» аэраторов, а также систем низконапорной аэрации k_1=0,75.

Коэффициент k_2 является аналогом величины H в формулах К. Н. Королькова.

Из табл. 4.53 видно, что зависимость необходимого количества воздуха от глубины слоя воды значительно более сложная, чем в формулах К. Н. Королькова.

Таблица 4.53

Значения коэффициента k_2 и интенсивности аэрации $I_{мин}$

Показатель	При h, м									
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
k_2	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3
$I_{мин}$, м³/(м²·ч)	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

По найденным значениям D и t определяется интенсивность аэрации:

$$I = \frac{DH}{t},$$

где H — рабочая глубина аэротенка, м.

Если вычисленная интенсивность аэрации более максимальной $I_{макс}$, то следует увеличить площадь аэрируемой зоны; если же она менее минимальной $I_{мин}$, то следует увеличить расход воздуха, приняв $I_{мин}$ по табл. 4.53.

Определение прироста ила $П_р$, мг/л, в аэротенках всех систем при очистке городских сточных вод производится по формуле

$$П_р = 0{,}8B + 0{,}3\,L_a, \qquad (4.243)$$

где B — содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в аэротенки, мг/л.

Для аэротенков с полной минерализацией ила прирост ила принимается по формуле (4.243) с коэффициентом 0,7. При расчете илоуплотнителей и систем по перекачке ила прирост увеличивают на 30% для учета сезонной неравномерности работы аэрационных сооружений.

Увеличение массы ила равно общей массе загрязнений, снятых в процессе очистки, за вычетом той его части, которая окислена до конца, т. е. до выделения углекислого газа и воды, и части ила, распавшегося в процессе его отмирания. Ориентировочно увеличение массы ила может быть определено по разности снятых ХПК и $БПК_{полн}$ (т. е. за счет неокисленных органических веществ, накапливаемых в иле в качестве инертного балласта), затем части веществ, определяемых $БПК_{полн}$ и израсходованных на синтез биомассы, а также части взвешенных веществ, сорбированных илом, но не определяемых ни БПК, ни ХПК. При расчете массы ила по единицам ХПК и БПК последние переводят в массовые единицы ила делением ХПК и БПК на кислородный эквивалент ила. Нетрудно подсчитать, что по реакции (4.142) ХПК ила состава $C_5H_7NO_2$ равна 1,42. Экспериментальные исследования илов московских канализационных очистных станций дали результаты по ХПК ила 1,5—1,6 мг на 1 мг беззольного вещества. Учет всех указанных слагаемых, введение необходимых переводных коэффициентов и упрощение выражения привели к формуле (4.243) прироста ила.

При создании обобщенного метода расчета аэротенков были учтены результаты большого числа специальных исследовательских работ. Были использованы рекомендации, предложенные С. В. Яковлевым, Т. А. Карюхиной, З. А. Орловским, Я. А. Карелиным, Б. Н. Репиным, Б. П. Ленским, Э. С. Разумовским и др.

Расчет аэротенков с учетом основ кинетики ферментативных реакций

Все современные теории биохимических процессов основываются на представлениях о закономерностях протекания ферментативных реакций. Ведущую роль в механизме ферментативного катализа играет образование фермент-субстратного комплекса. На первой стадии ферментативного катализа между субстратом (органическим веществом) и ферментом возникает соединение с ковалентной или иного типа связью. Во второй фазе субстрат под действием фермента претерпевает изменение, делающее его более доступным для соответствующей химической реакции. В третьей фазе происходит химическая реакция (на поверхности фермента) и, наконец, в четвертой фазе образовавшиеся продукты реакции освобождаются из фермент-продуктивного комплекса.

Если фермент обозначить буквой E (от слова «энзим», т. е. фермент), субстрат — S; активированный субстрат — $S^{(1)}$ и продукт реакции — P, то указанная последовательность процессов выразится следующей схемой.

$$E + S \rightleftarrows ES \rightleftarrows ES^{(1)} \rightleftarrows EP \rightleftarrows E + P. \qquad (4.244)$$

Эта схема для многих реакций подтверждена прямым выделением ES-, $ES^{(1)}$- и EP-комплексов.

Под *ферментативной кинетикой* понимают закономерности изменения скорости реакции в зависимости от химической природы реагирующих веществ и условий их взаимодействия. Под *условиями взаимодействия* понимают влияние концентрации реагирующих веществ, температуры, давления, присутствия ингибиторов или активаторов и т. п. В настоящем разделе из всех перечисленных факторов рассматривается только влияние концентрации субстрата и фермента.

Для упрощения математического описания ферментативного процесса допустим, что реакция имеет вид:

$$E + S \underset{K_{-1}}{\overset{K_{+1}}{\rightleftarrows}} ES \xrightarrow{K_{+2}} E + P, \qquad (4.245)$$

где K_{+1}, K_{-1}, K_{+2} — константы скорости соответствующих реакций.

В этом случае суммарная скорость реакции определится концентрацией фермент-субстратного комплекса [ES]. В стационарной стадии процесса, если $[S] \gg [E]$, концентрация [ES] остается постоянной до тех пор, пока соблюдается это соотношение. Следовательно, условием стационарности процесса является:

$$\Sigma \frac{d[ES]}{dt} = 0. \qquad (4.246)$$

В свою очередь, скорость изменения концентрации комплекса определяется соотношением скоростей реакций в прямом и обратном направлениях:

$$\Sigma \frac{d[ES]}{dt} = K_{+1}[E][S] - K_{-1}[ES] - K_{+2}[ES]. \qquad (4.247)$$

Обозначим общую концентрацию фермента $[E]_o$. Так как $[E]_o = [E] + [ES]$, получим:

$$K_{+1}([E]_o - [ES])[S] - K_{-1}[ES] - K_{+2}[ES] = 0. \qquad (4.248)$$

Из этого уравнения можно найти концентрацию фермент-субстратного комплекса:

$$[ES] = \frac{K_{+1}[E]_o[S]}{K_{-1} + K_{+2} + K_{+1}[S]}. \qquad (4.248а)$$

Разделим числитель и знаменатель на K_{+1}:

$$[ES] = \frac{[E]_o[S]}{(K_{-1} + K_{+2})/K_{+1} + [S]}. \qquad (4.248б)$$

Обозначив

$$(K_{-1} + K_{+2})/K_{+1} = K_m,$$

получим выражение для стационарной концентрации фермент-субстратного комплекса:

$$[ES] = \frac{[E]_o[S]}{K_m + [S]}. \qquad (4.294)$$

Скорость суммарной ферментативной реакции, измеряемая по образованию продукта P, в соответствии с (4.245) может быть выражена:

$$v = -\frac{d[ES]}{dt} = K_{+2}[ES]. \tag{4.250}$$

С учетом выражения (4.249) получим:

$$v = \frac{K_{+2}[E]_0[S]}{K_m + [S]}. \tag{4.251}$$

Уравнение (4.251) является основным уравнением стационарной кинетики простейших ферментативных реакций и носит название уравнения Михаэлиса—Ментен—авторов, которые экспериментально показали справедливость этого уравнения по отношению ко многим ферментативным процессам. Следует, однако, сказать, что Михаэлис и Ментен придавали иной смысл величине K_m. Они считали, что концентрация комплекса [ES] определяется лишь соотношением констант K_{-1}/K_{+1}. Влияние K_{+2} на величину [ES] было учтено Бриггсом и Холденом, однако уравнение (4.251) сохранило название первых авторов.

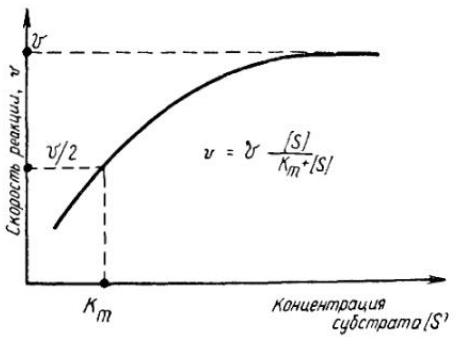


Рис. 4.108. Скорость ферментативных реакций по уравнению Михаэлиса — Ментен

Согласно уравнению (4.251), стационарная скорость простой ферментативной реакции линейно зависит от начальной концентрации фермента. Опыт показывает, что эта закономерность выполняется для самых разнообразных ферментативных реакций в широком ряду концентраций фермента. Такая зависимость сохраняется при основном условии, что $[E]_0 \ll [S]$. Повышение концентрации фермента за пределы этого неравенства (или понижение концентрации субстрата) нарушает линейную зависимость.

Зависимость стационарной скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата выражается гиперболической функцией. При малых концентрациях субстрата, когда $[S] \ll K_m$, можно принять, что $K_m + [S] \approx K_m$, и, следовательно,

$$v \approx \frac{K_{+2}[E]_0[S]}{K_m}. \tag{4.252}$$

Таким образом, при малых концентрациях субстрата скорость ферментативной реакции приблизительно линейно изменяется с изменением концентрации субстрата. При значительном повышении концентрации субстрата, когда $[S] \gg K_m$, можно считать, что $K_m + [S] \approx [S]$. В этом случае уравнение (4.251) будет иметь вид:

$$v = K_{+2}[E]_0. \tag{4.253}$$

Следовательно, при некоторой концентрации субстрата стационарная скорость реакции достигает постоянного значения, не зависящего от дальнейшего увеличения [S]. Постоянная скорость ферментативной реакции, достигаемая при полном насыщении фермента субстратом, носит название *максимальной скорости* V, т. е.

$$V = K_{+2}[E]_0. \tag{4.254}$$

При экспериментальном изучении зависимости скорости реакции от концентрации субстрата при постоянной концентрации фермента можно получить данные для вычисления константы K_m и V.

Если в уравнении (4.251) произведение $K_{+2}[E]_0$ заменить на V, получим уравнение Михаэлиса в следующей форме:

$$v = \frac{V[S]}{K_m + [S]}. \tag{4.255}$$

Нетрудно видеть, что при $v/V = 0{,}5$ $K_m = [S]$. Это означает, что константа K_m численно равна концентрации субстрата, при которой стационарная скорость ферментативной реакции равна половине максимальной скорости (рис. 4.108).

При графическом выражении $v = f[S]$ в виде уравнения (4.255) нахождение V и K_m представляет известные технические трудности, поскольку зависимость имеет гиперболический характер. В связи с этим было предложено несколько способов транс-

формации уравнения Михаэлиса в линейную функцию. Наиболее широкое применение получили уравнения, предложенные Лайнуивером и Бэрком:

$$\frac{1}{v} = \frac{K_m}{V}\frac{1}{[S]} + \frac{1}{V}; \tag{4.256}$$

$$\frac{[S]}{v} = \frac{1}{V}[S] + \frac{K_m}{V}. \tag{4.257}$$

При обработке экспериментальных данных по уравнению (4.256) по оси ординат откладываются величины, обратные стационарной скорости реакции, а по оси абсцисс — величины, обратные соответствующим концентрациям субстрата. При этом, если реакция подчиняется уравнению Михаэлиса, получается прямая, отсекающая на оси ординат отрезок, соответствующий $1/V$. Продолжение прямой до пересечения с осью абсцисс отсекает на последней отрезок, соответствующий $1/K_m$.

С момента создания теории Михаэлиса и Ментен (1913 г.) теория кинетики ферментативных реакций была усовершенствована работами Афанасьева (1949 г.), Лейдлера и Хоара (1950 г.), Пасынского (1955 г.).

Уравнение Михаэлиса—Ментен нашло очень широкое распространение в изучении биохимических реакций. Строго говоря, оно применимо лишь в тех случаях, когда изучается какая-либо одна определенная ферментативная реакция.

Однако основные положения расчетного уравнения Михаэлиса—Ментен, а также позднее предложенных уточненных уравнений (Герберта и др.) применяют и к описанию сложного комплексного механизма биохимического окисления загрязнений сточных вод, когда одновременно протекают самые разнообразные реакции с участием множества различных ферментных систем. Разумеется, такое применение указанных уравнений вызывает целый ряд возражений, но оно может быть оправдано, если точность получаемых результатов оказывается достаточной для решения технических задач.

В технике очистки сточных вод под *субстратом* подразумевают концентрацию загрязнений по БПК, а под *концентрацией фермента* — концентрацию ила.

Перенося интерпретацию уравнения Михаэлиса—Ментен на случай биологической очистки сточных вод, принимают, что в условиях высоких нагрузок на активный ил, когда концентрация органических загрязнений выше накопительной способности ила, скорость очистки V максимальна и процесс не зависит от БПК смеси. Когда углеродсодержащих загрязнений становится мало, реакция переходит в область реакции первого порядка и зависит вначале от концентрации активного ила, а затем от концентрации остающихся загрязнений, т. е. от $БПК_t$. В стадии эндогенного дыхания скорость реакции самоокисления описывается также уравнением первого порядка относительно концентрации активного ила.

Если очистка сточных вод происходит в аэротенке-смесителе, то, как уже указывалось выше, при постоянной нагрузке загрязнений на ил скорость процесса также постоянна и находится в какой-то одной кинетической области; если же очистку воды проводят в аэротенке-вытеснителе, то скорость реакции несколько раз изменяется и может быть описана системой уравнений или же одним обобщающим уравнением, но с большим числом входящих в него экспериментально определяемых констант. Учитывая сложность кинетических представлений, различных в зависимости от выбранного типа аэротенка, т. е. от гидродинамических условий перемешивания в объеме сооружения, в настоящее время расчет аэротенков проводят по обобщенному показателю — скорости окисления, принимаемой средней за весь период очистки. Численные значения скорости процесса были определены в результате анализа большого количества данных эксплуатации советских и зарубежных очистных станций, а также анализа результатов научно-исследовательских работ.

Системы аэрации и конструкции аэротенков

Выше отмечалось, что 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—4 мм, при среднепузырчатой — 5—10 мм, при крупнопузырчатой — более 10 мм.

К мелкопузырчатым аэраторам относятся керамические, тканевые и пластиковые аэраторы, а также аэраторы форсуночного и ударного типов, к среднепузырчатым — перфорированные трубы, щелевые аэраторы и др.; к крупнопузырчатым — открытые снизу вертикальные трубы, а также сопла.

В СССР наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора является фильтросная пластина размером 300×300 мм и толщиной 35 мм, изготовляемая 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—30 м.

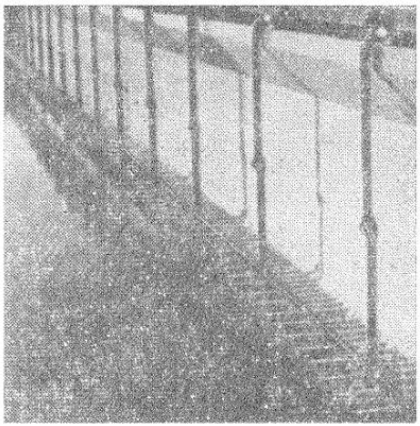


Рис. 4.109. Аэратор системы «Шумахер»

В зарубежной практике применяют также чугунные, стальные, алюминиевые или железобетонные ящики небольшой длины, в которые заделываются фильтросные пластины. Такая конструкция позволяет быстро заменить вышедшую из строя пластину (вынуть ящик на поверхность), не опорожняя аэротенка. Так как ящики имеют малую длину, то расстояние между стояками не превышает 5 м.

Фильтросные пластины могут засоряться с внутренней стороны пылью, окалиной и ржавчиной, находящимися в подаваемом воздухе, а с наружной стороны могут зарастать бактериальной пленкой. Поэтому пластины периодически очищают скребками или щетками, обрабатывают соляной или серной кислотой либо обжигают. Эти методы очистки пластины несколько восстанавливают их проницаемость, но на короткий срок. Поэтому в среднем через каждые семь лет фильтросные пластины полностью заменяют новыми.

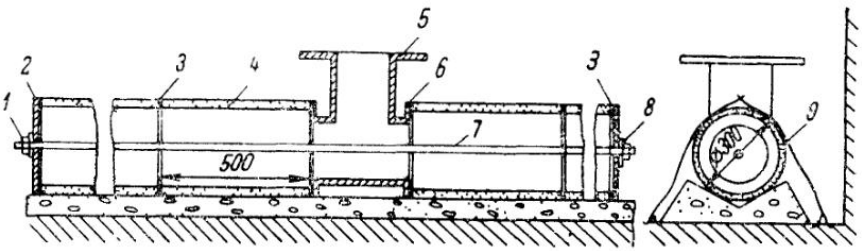


Рис. 4.110. Аэратор в виде пористой трубы

1 — натяжные гайки; *2* — заглушка; *3* — резиновые кольцевые прокладки; *4* — секция; *5* — тройник; *6* — фланцы; *7* — натяжной стержень; *8* — шайбы; *9* — проволочные хомуты

Применение пористых труб вместо фильтросных пластин позволяет избежать затруднений, связанных с монтажом фильтросных пластин.

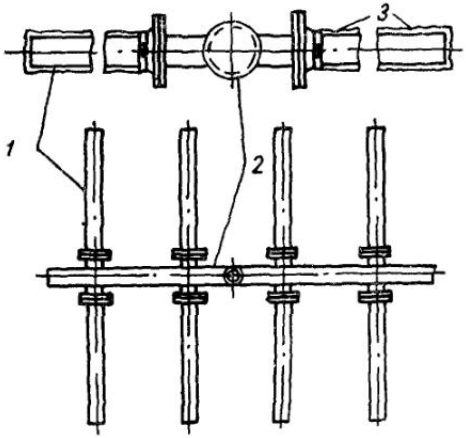
Разработанный фирмой «Шумахер» (ФРГ) аэрационный агрегат (рис. 4.109) имеет длину 3,9 м. К коллектору присоединены пористые трубки диаметром 70 или 100 мм и длиной 500 мм. На 1 м коллектора устанавливают 6—20 трубок. Агрегат подвешивают на двух стояках, шарнирно связанных с разводящим воздуховодом. Для ремонта агрегат может быть легко поднят с помощью ручной лебедки.

Во ВНИИ ВОДГЕО испытаны керамические трубы диаметром 300 мм (рис. 4.110). Пористая труба состоит из секций длиной 500 мм

каждая, соединенных между собой на резиновых кольцевых прокладках. Концы трубы герметизируются заглушкой, имеющей в центре отверстия для натяжного стержня. Уплотняют стыки и крепят секции аэратора натяжным стержнем, который имеет на концах резьбу и натяжные гайки. Отверстия для натяжного стержня герметизируют резиновыми прокладками и шайбами.

Воздух в аэратор подается по стояку, который присоединен к тройнику с приваренными к нему фланцами, соответствующими размерам пористой трубы. Трубу через каждые 3—5 м притягивают к желобу проволочными хомутами, продетыми в анкерные петли.

В ряде стран в конструкциях аэраторов используют пористые пластики. Наибольшее распространение получили сарановые трубки, представляющие собой стальной каркас в виде цилиндрической сетки, которая снаружи обтянута пористым пластиком.



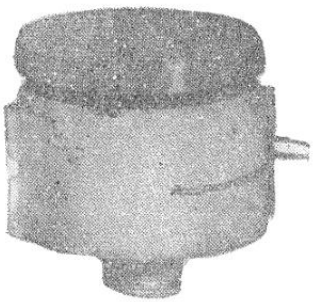


Рис. 4 112 Аэратор «Вибрэйр»

← Рис 4 111 Аэратор решетчатый тканевый

1 — перфорированные трубки, *2* — коллектор, *3* — капроновая ткань

Применяют также синтетические ткани. Фирма «Инфилко» разработала конструкцию тканевого аэратора в виде тарелки, которая сверху обтянута тканью, прикрепленной к тарелке металлическим хомутом. Крепление отдельных тарельчатых аэраторов к горизонтальному воздуховоду выполнено с помощью резьбовых соединений.

Недостатком конструкции тарельчатого аэратора является невозможность его замены и демонтажа без опорожнения аэротенка.

Во ВНИИ ВОДГЕО разработано несколько конструкций тканевых аэраторов: 1) рамный, представляющий собой раму, которая собрана из перфорированных металлических труб с натянутой на них синтетической тканью; 2) тарельчатый, по конструкции аналогичный аэраторам фирмы «Инфилко»; 3) решетчатый (рис. 4.111), состоящий из коллектора, к которому с помощью фланцев присоединены перфорированные трубки с натянутой на них капроновой тканью, прикрепленной к трубкам хомутами.

Достоинством тканевых аэраторов по сравнению с керамическими диффузорами является возможность их полной регенерации при промывке.

Стремление избавиться от присущих мелкопузырчатым аэраторам недостатков, главным из которых является «способность» к засорению, привело к разработке новых конструкций аэраторов.

К таким аэраторам относится диффузор «Вибрэйр» (рис. 4.112), разработанный фирмой «Дегремон» (Франция) и представляющий собой клапанное устройство из некорродирующего материала. Под давлением воздуха клапан приподнимается, и между ним и гнездом образуется зазор в десятые доли миллиметра. При прекращении подачи воз-

духа клапан плотно закрывает отверстие и предотвращает засорение диффузора. Диффузор монтируют путем ввинчивания в воздухораспределитель, расположенный у дна, либо в специальную плиту в днище аэротенка, которая перекрывает воздухораспределительный железобетонный клапан.

К среднепузырчатым аэраторам можно отнести дырчатые трубы, укладываемые на дне аэротенка, с отверстиями диаметром 3—4 мм. Воздухоподающие стояки устанавливают через 20—30 м. Трубы должны быть уложены строго горизонтально, иначе воздух будет продуваться неравномерно по длине трубы. Опыт эксплуатации стальных перфорированных труб показал, что через короткий срок отверстия засоряются ржавчиной и подача воздуха уменьшается.

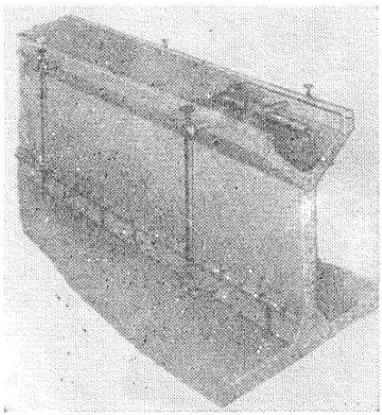


Рис. 4.113. Схема установки аэраторов «Спаржер»

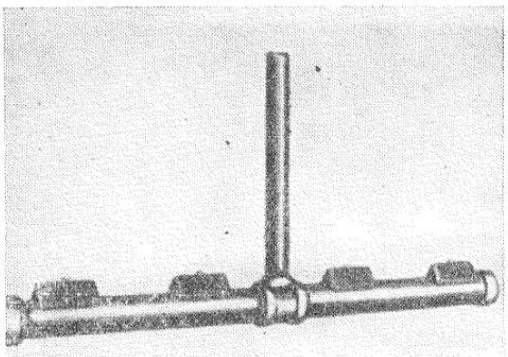


Рис 4.114. Аэратор гребневый

В американской практике широкое распространение получил аэратор «Спаржер» (рис. 4.113), представляющий собой литую крестовину из четырех коротких трубок с открытыми концами. «Спаржеры» насаживают через каждые 0,3—0,6 м на воздухораспределитель, располагаемый у дна аэротенка. Воздухораспределитель может быть как неподвижным, так и подъемным на случай производства ремонтных работ. Благодаря созданию компактной, определенно направленной и выходящей с большой скоростью струи воздуха над аэратором «Спаржер» развивается область высокой турбулентности, в результате чего происходит вторичное дробление воздуха и образуется «облако» мелких пузырьков, сравнимых по размеру с пузырьками тонкодиспергированного воздуха.

Гребневый аэратор (рис. 4.114) представляет собой продолговатую шляпку пирамидальной формы, насаживаемую на воздухораспределитель. В шляпке имеется серия прорезей, через которые выходит воздух. «Гребни» насаживают на воздухораспределитель либо монтируют на отводных трубках, присоединенных к воздухораспределителю.

В последние годы получил распространение аэратор системы ИНКА (рис. 4.115). Конструкция с такой системой аэрации обычно называется аэротенком с низконапорной аэрацией системы ИНКА.

Аэратор представляет собой решетку из легких трубок из нержавеющей стали с отверстиями от 1—2 до 6—7 мм. Решетка устанавливается вдоль одной из продольных стен аэротенка на глубине 0,6—0,9 м от поверхности воды. Для придания поперечной циркуляции воде в аэротенке устанавливают продольную перегородку из стекловолокна, верх

которой расположен на уровне выхода воздуха из решетки, а низ не доходит до дна. В зоне выхода воздуха развивается область высокой турбулентности, благодаря чему воздух дробится и образуется водовоздушная эмульсия.

При малой глубине аэратора в аэротенке ИНКА для обеспечения нормального хода процесса биологической очистки нужно подавать воздух в объеме, в несколько раз большем, чем при глубинном расположении аэратора. Благодаря низкому гидростатическому давлению воды воздух может быть подан центробежными вентиляторами, к. п. д. которых на 15—20% выше, чем у воздуходувок компрессорного типа. Вентиляторы могут быть установлены непосредственно на аэротенках в лег-

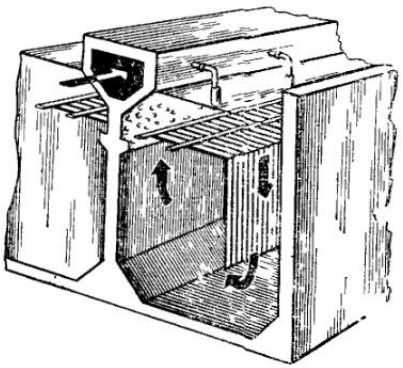


Рис 4 115 Аэратор системы ИНКА

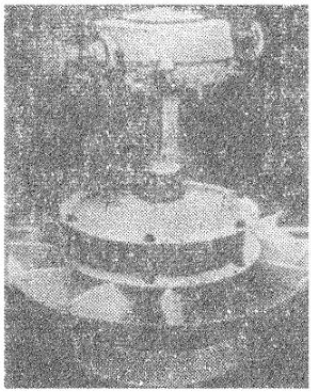


Рис. 4 116. Аэратор «Симплекс»

ких укрытиях, защищающих их от неблагоприятных атмосферных условий.

К крупнопузырчатым аэраторам относится система «крупных пузырей», в которой аэраторами являются трубы диаметром 50 мм с открытыми концами, опущенные вертикально вниз на глубину 0,5 м от дна аэротенка. Эта система была впервые применена на станции Ашер в Париже.

В такой системе аэрации используется кислород не только сжатого, но и в большей мере атмосферного воздуха, с которым иловая смесь усиленно контактирует путем перемешивания ее крупными пузырями воздуха. При этом расход воздуха возрастает незначительно и устраняются трудности, которые связаны с эксплуатацией аэротенков, оборудованных фильтросными пластинами и диффузорами.

Механическая аэрация. Системы механической аэрации в аэротенках 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 аэротенка.

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 получили аэраторы поверхностного типа, особенностью которых является незначительное погружение их в сточную воду и непосредственная связь ротора с атмосферным воздухом. К ним можно отнести аэраторы типа «Симплекс», «Симкар», дисковые, «Лайтнин», щетки Кессенера и их модификации (цилиндрические, «Маммут», вальцовые и др.).

Аэратор «Симплекс» (рис. 4 116) представляет собой изготовленный из листовой стали полый усеченный конус с расширенной частью, обращенной кверху. К внутренней поверхности конуса прикреплено несколько лопастей специальной формы. Вверху, со стороны оси вращения, лопа-

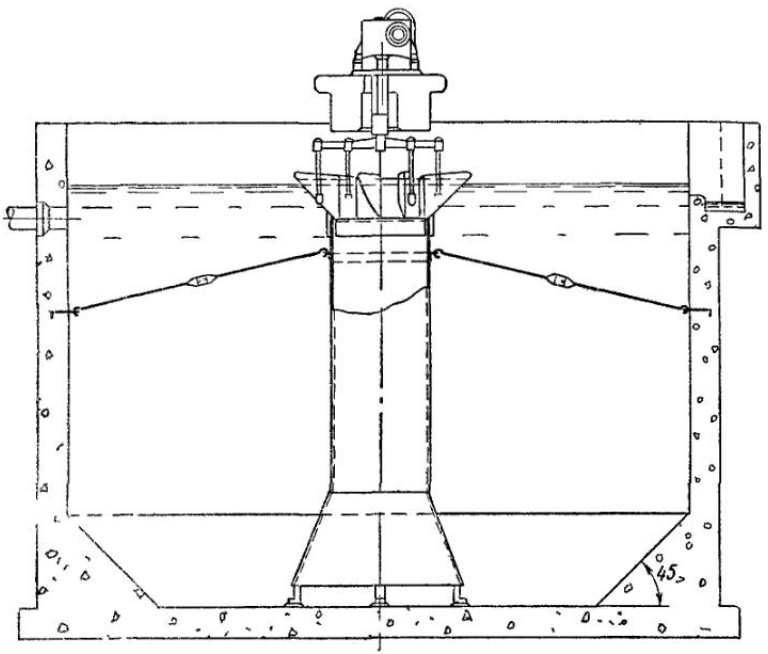


Рис. 4 117. Схема установки аэратора «Симплекс»

сти приварены к колесу, ступица которого связана с валом, передающим вращение от двигателя на конус.

Конус погружен в сточную воду так, что верхняя часть его выступает на 5—20 см над уровнем воды в аэротенке. Внизу под конусом устанавливается вертикальная труба диаметром 0,6—0,9 м, не доходящая до дна аэротенка на несколько сантиметров и опирающаяся на три регулируемые опоры. Конус связан с трубой специальной втулкой, обеспечивающей плотность соединения вращающегося конуса и неподвижной трубы (рис. 4.117). При вращении относительно вертикальной оси конус выбрасывает воду, разбрызгивая ее над уровнем воды в аэротенке, что обеспечивает ее аэрацию.

Дисковый аэратор представляет собой диск, с нижней стороны которого крепят радиально направленные лопасти. Скорость вращения диска относительно вертикальной оси принимается 3,5—4,5 м/с в зависимости от диаметра аэратора. За рубежом наиболее широкое распространение получили аэраторы, разработанные фирмами «Лурги» (ФРГ) и «Инфилко» (США).

Кафедрой канализации МИСИ им. В. В Куйбышева (В. Н. Журов) также разработана конструкция дискового аэратора, имеющего в отличие от аэраторов фирм «Лурги» и «Инфилко» стабилизатор потока, устанавливаемый под аэратором с небольшим зазором (рис. 4.118).

Аэратор «Лайтнин» представляет собой полностью открытую турби-

ну, у которой лопасти прикреплены непосредственно к валу и наклонены под углом 45° к горизонту.

Аэратор системы Кессенера представляет собой цилиндр, поверхность которого покрыта металлическим ворсом из нержавеющей стальной проволоки диаметром 1—2 мм и длиной около 15 мм. Частота вращения вала относительно горизонтальной оси до 100 мин$^{-1}$. Аэратор погружается в воду на глубину 10—12 см. Вращение такого аэратора приводит к нагнетанию воздуха из атмосферы в сточную воду.

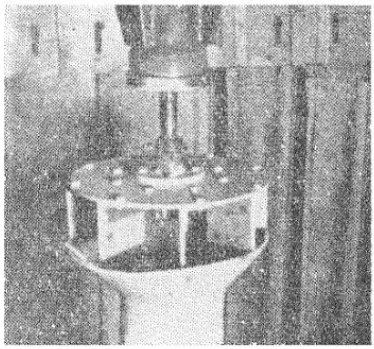


Рис. 4.118. Аэратор дисковый

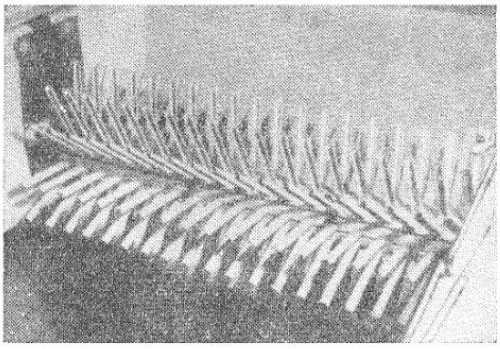


Рис. 4.119. Аэратор цилиндрический

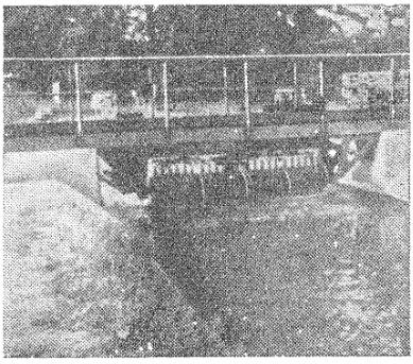


Рис. 4.120. Аэратор вальцовый

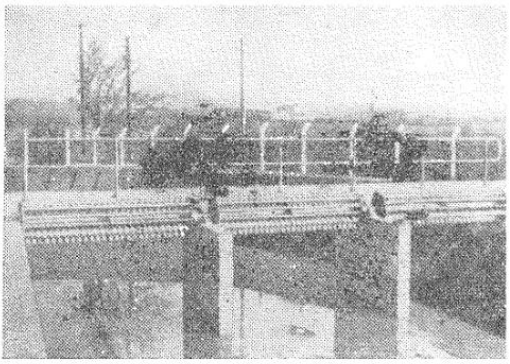


Рис. 4.121. Аэратор клеточный

В последние годы разработано несколько модификаций аэратора Кессенера, в которых вместо ворса применены стальные пластинки или стальные уголки, приваренные или вставленные в зажимы на цилиндрическом валу (рис. 4.119).

Вальцовый аэратор (рис. 4.120) представляет собой разновидность цилиндрического аэратора, но при этом цилиндр собирается из нескольких (от 1 до 8) вальцов длиной каждый около 3 м.

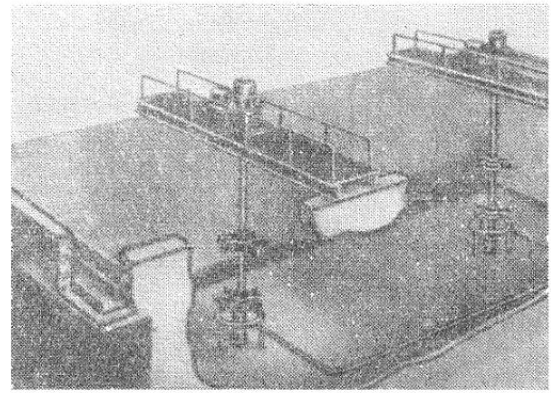
Клеточный аэратор (рис. 4.121) — цилиндрический вал с двумя дисками на концах вала. По периферии дисков параллельно валу прикреплено 12 Т-образных балок, к которым болтами крепят короткие стальные лопатки длиной 15 см, шириной 5 см и толщиной 0,5 см. Аэратор собирают из нескольких звеньев.

Смешанная, или комбинированная, система сочетает в себе элементы пневматической и механической аэрации.

Наибольшее распространение из комбинированных аэраторов получили турбинные аэраторы фирм «Дорр-Оливер» и «Пермутит».

Турбинный аэратор фирмы «Дорр-Оливер» 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 (рис. 4.122). Под нижней турбиной располагается перфорированное воздухораспределительное кольцо, в которое подается воздух от воздуходувок. Воздух выходит из кольца по периферии нижней турбины, благодаря действию которой он тонко диспергируется и хорошо перемешивается.

В связи с необходимостью доочистки сточных вод в аэрируемых биологических прудах в последние годы разработаны конструкции подвижных механических аэраторов.



← Рис 4 122 Аэратор турбинный

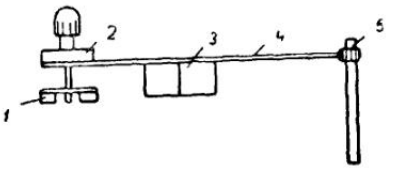


Рис. 4 123. Аэратор подвижный механический

1 — аэратор, *2* — редуктор, *3* — понтон, *4* — тяга; *5* — токосъемник

Конструкция такого аэратора, разработанная во ВНИИ ВОДГЕО, показана на рис. 4.123. Аэратор, приводящийся в движение от электродвигателя через редуктор, связан с неподвижной опорой и токосъемником с помощью тяги, на которой крепится понтон. При работе аэратора возникает пара реактивных сил, поэтому вращение ротора вокруг собственной оси вызывает вращение всего аэратора вокруг неподвижной опоры.

Известно, что при выпуске биологически очищенных сточных вод в водоем желательно иметь возможно бо́льшую 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 Паршаля 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.

Расчет дискового аэратора

На кафедре канализации МИСИ им. В. В. Куйбышева разработан метод расчета дисковых аэраторов.

Как указывалось, дисковый аэратор представляет собой диск с радиально направленными лопастями, прикрепленными к нему с нижней его стороны (см. рис. 4.118). Аэратор незначительно погружен в воду и с определенной частотой вращается относительно вертикальной оси. При этом вследствие отбрасывания лопастями воды вокруг аэратора образуется воронка. Если глубина погружения аэратора меньше (или равна) глубины воронки, то диск обнажается и воздух из атмосферы поступает в межлопастное пространство аэратора по периферийной кромке диска. Для обеспечения более свободного доступа воздуха в

диске аэратора устраивают либо отверстия диаметром 3—5 см, либо прорези шириной 1,5—3 см по всей длине лопасти со стороны, противоположной направлению вращения аэратора (рис. 4.124). За лопастью образуется зона пониженного давления, в которой воздух образует «мешки». Вода, выбрасываемая лопастью в виде струи, вовлекает воздух из этих «мешков» в окружающую аэратор воду. Встречая сопротивление кольца воды, воздух вокруг аэратора дробится, в виде отдельных пузырьков уносится потоками воды и перемешивается с содержимым аэротенка.

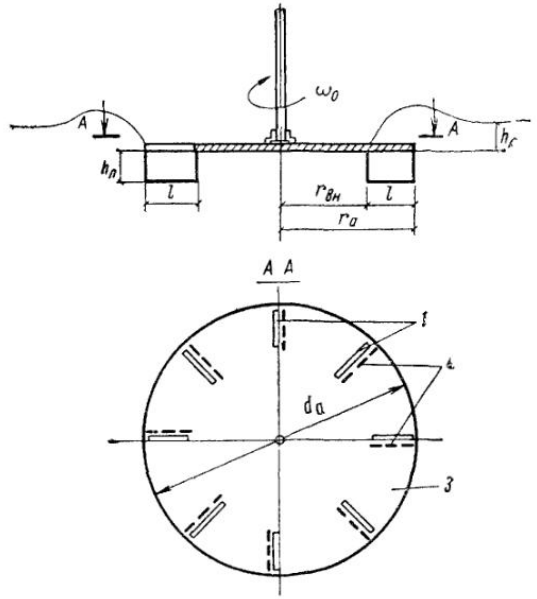


Рис. 4 124. Схема работы механического поверхностного аэратора дискового типа

1 — прорези; *2* — лопасти; *3* — диск

Аэратор может работать в трех режимах, характеризующихся различными технологическими показателями.

Первый режим наблюдается при значительной глубине погружения аэратора. Вокруг него образуется лишь неглубокая воронка, не достигающая диска аэратора; следовательно, диск полностью затоплен. Вода, выбрасываемая из аэратора, не имеет контакта с воздухом, и вовлечения воздуха водой не происходит. Затраты энергии на работу аэратора весьма высокие, так как аэрация происходит только вследствие возмущения свободной поверхности воды в аэротенке, а поэтому незначительна.

Второй режим наступает при уменьшении глубины погружения до полного обнажения диска. Потребление электроэнергии при этом значительно снижается, а объем переданного в воду кислорода резко возрастает. В этом случае аэрация происходит под воздействием трех факторов: 1) вовлечения воздуха струей воды, срывающейся с лопасти; 2) защемления воздуха вследствие неустойчивости образующейся воронки; 3) возмущения свободной поверхности воды.

Третий режим наступает при дальнейшем уменьшении глубины погружения аэратора, когда потребление электроэнергии падает, но в еще большей степени уменьшается количество переданного в воду кислорода, что приводит к снижению эффективности раооты аэратора.

Расчет аэратора заключается в определении оптимальных параметров (см. рис. 4.124) режима работы и технологических показателей.

1. Диаметр аэратора $d_{аэр}$, м, назначается из условия $d_{аэр} = (0{,}15 \ldots 0{,}2)\, B_{аэр}$, где $B_{аэр}$ — ширина аэротенка, м.

2. Количество лопастей определяется как $z = (10 \ldots 12)\sqrt{d_{аэр}}$.

3. Длина лопасти l, м, определяется из уравнения

$$l = \frac{\pi d_{аэр}}{\pi + z}. \qquad (4.258)$$

4. Высота лопасти $h_л$, м,

$$h_л = \frac{gt^2}{2} + t\sqrt{2gh_п}, \qquad (4.259)$$

где $h_п$ — глубина погружения диска, принимаемая равной 0,1—0,08м;

t — время пробегания лопастью расстояния, равного расстоянию между лопастями (или время поворота лопасти на угол, равный углу между лопастями), с, т. е.

$$t = \frac{1}{\omega_0 z}; \tag{4.260}$$

ω_0 — частота вращения аэратора, $с^{-1}$.

Задаваясь частотой вращения аэратора (исходя из окружной скорости вращения 3,5—4,5 м/с), определяют высоту лопасти постепенным приближением.

Правильность выбранной частоты вращения проверяется условием

$$H_{ст} = h_п + h_л (1 - k), \tag{4.261}$$

где k — коэффициент использования боковой поверхности аэратора:

$$k = \frac{t}{2h_л}\left(v_0 - \frac{gt}{3}\right); \tag{4.262}$$

v_0 — скорость подъема воды на входе в аэратор, м/с:

$$v_0 = \sqrt{2g\,(h_п + h_л)}.$$

Статический напор аэратора $H_{ст}$, м, определяется по уравнению

$$H_{ст} = \frac{k' k\omega^2 \left(r^2_{аэр} - r^2_{вн}\right)}{2g}, \tag{4.263}$$

где k' — коэффициент для учета числа лопастей;

ω — угловая скорость: $\omega = 2T_1\omega_0$, рад/с;

$r_{аэр}$ и $r_{вн}$ — внешний и внутренний радиусы аэратора, м.

Коэффициент для учета числа лопастей определяется по формуле

$$k' = \frac{1}{1 + \frac{3{,}6}{z}\,\frac{1}{1 - (r_{вн}/r_{аэр})^2}}.$$

Добившись выполнения условия (4.261), можно рассчитать технологические показатели аэратора.

5. Расход жидкости Q, $м^3/с$, перекачиваемой аэратором, будет:

$$Q = \frac{\pi^2 d^2_{аэр}}{2z}\left(v_0 - \frac{gt}{3}\right)\left(1 - \frac{l}{d_{аэр}}\right). \tag{4.264}$$

6. Мощность (нетто) N, кВт, потребляемая аэратором, составит:

$$N_{нетто} = \frac{k' \rho Q v^2_л}{2 \cdot 1000}\left[1 + \frac{g\,(2h_п + h_л)}{v^2_п}\right], \tag{4.265}$$

где ρ — плотность жидкости, равная 1000 кг/$м^3$;

$v_п$ — периферийная скорость вращения, м/с.

7. Окислительная способность аэратора $[OC]$, кг/ч, определяется как

$$[OC] = (2{,}8 \ldots 3)\, N_{нетто}.$$

8. Число аэраторов, необходимых к установке в аэротенках, определяется по уравнению

$$N_{аэр} = \frac{m_1 Q_{сут}\,(L_a - L_t)}{m_2\,[OC]\,d}, \tag{4.266}$$

где m_1 — потребность в кислороде на 1 кг снятой $БПК_{полн}$, равная 1,05—2,3 в зависимости от режима работы аэротенков;

$Q_{сут}$ — суточный расход сточных вод, м³;
L_a — БПК$_{полн}$ поступающих сточных вод, кг/м³;
L_t — БПК$_{полн}$ очищенных сточных вод, кг/м³;
m_2 — коэффициент качества сточных вод;
$[OC]$ — окислительная способность, кг/сутки;
d — дефицит кислорода.

9. Зона, обслуживаемая одним аэратором, определяется из условия обеспечения придонной скорости движения воды (на 0,2 м от дна), равной 0,35 м/с. Поверхностная скорость v_x, м/с, определяется по уравнению квадрат с размером стороны

$$v_x = 0{,}35\left(\frac{H-0{,}2}{0{,}2}\right)^{1/7}. \qquad (4.267)$$

где H — глубина аэротенка, м.

Тогда зона L, м, обслуживаемая одним аэратором, определяется как

$$L = \frac{2k_2^2 Q\, v_{абс}}{v_x^2\, \pi d_{аэр}},$$

где k_2 — коэффициент, определяемый экспериментально и принимаемый равным 1,14;

$v_{абс}$ — абсолютная скорость выхода жидкости из аэратора, м/с;

$$v_{абс} = \sqrt{v_r^2 + v_п^2}, \qquad (4.268)$$

v_r — радиальная скорость выхода жидкости из аэратора, м, определяемая по уравнению

$$v_r = \frac{v_н + v_к}{2}; \qquad v_к = v_п,$$

где $v_н$ — скорость вращения в начале лопасти, м/с.

10. Число аэраторов из условия обеспечения перемешивания воды определяется как

$$N'_{аэр} = \frac{F_a}{LB_{аэр}}, \qquad (4.269)$$

где $B_{аэр}$ — ширина аэротенка, м.

11. Оптимальная работа аэратора будет при выполнении условия $N_{аэр} = N'_{аэр}$.

Для обеспечения хорошей циркуляции воды в аэротенке и предотвращения выпадения взвешенных веществ на его дно при обычных глубинах аэротенка (порядка 4—4,5 м) целесообразно применение стабилизатора потока. Последний представляет собой вертикальную трубу, устанавливаемую с небольшим зазором под аэратором, соосно с ним и имеющую верхнее и нижнее коническое расширения. Верхнее рас-

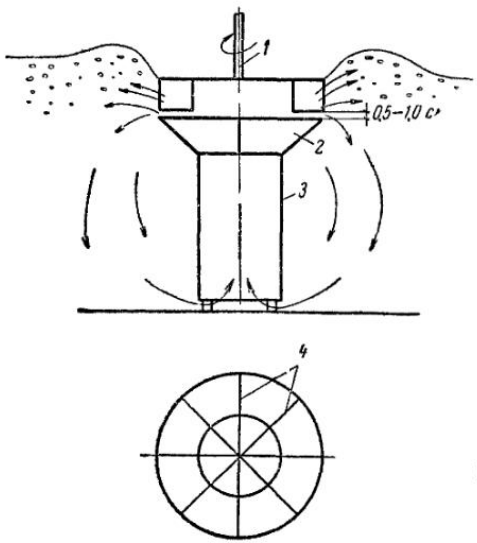


Рис. 4.125. Схема работы механического поверхностного аэратора дискового типа

1 — вал аэратора; *2* — верхнее расширение стабилизатора; *3* — стабилизатор; *4* — лопатки аэратора

ширение оборудовано вертикальными, радиально направленными лопастями, предотвращающими закручивание воды в стабилизаторе. Для входа воды в стабилизатор устраивают впускные окна с регулирующими заслонками внизу и посередине стабилизатора, позволяющие регулировать расход воды через него, а следовательно, регулировать и производительность аэратора (рис. 4.125).

Механический аэратор дискового типа со стабилизатором позволяет увеличить напор, развиваемый аэратором. При этом аэратор развивает как гидродинамический напор, служащий для перемешивания воды в аэротенке, так и гидростатический, обеспечивающий образование воронки и доступ воздуха в межлопастное пространство аэратора. Гидро-

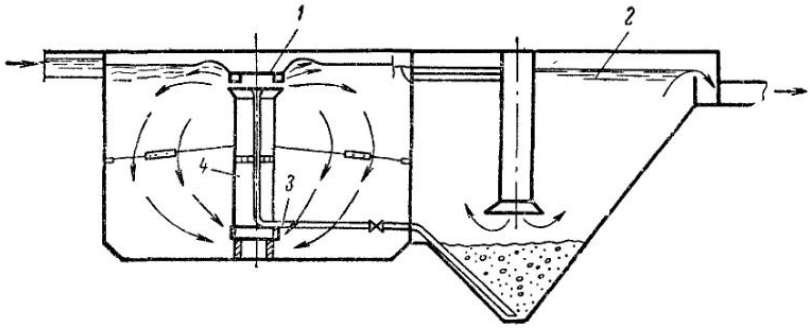


Рис. 4.126. Схема использования механического аэратора дискового типа со стабилизатором потока для подачи ила из отстойника

1 — аэратор; *2* — зона отстаивания; *3* — трубопровод возвратного активного ила; *4* — стабилизатор потока

статический напор, развиваемый аэратором, может быть использован и для возврата активного ила из вторичного отстойника. Возврат ила осуществляется под действием разности уровней воды в межлопастном пространстве аэратора и вторичном отстойнике (рис. 4.126).

На основе методики расчета аэратора определены некоторые параметры аэраторов (табл. 4.54).

Таблица 4.54

Некоторые типоразмеры аэраторов

Диаметр аэратора, м	Частота вращения		Число лопастей, шт.	Размеры лопасти, см		Мощность (нетто), потребляемая аэратором, кВт	Окислительная способность, кг/сутки
	$мин^{-1}$	м/с		высота	длина		
0,5	133	3,5	6	14	17	1,2	80
0,7	95	3,5	8	14	20	2,4	170
1	67	3,5	12	13	21	3,4	230
1,5	48	3,75	16	14	25	7,5	550
2	38	3,95	18	15	30	11,8	800
2,5	32	4,25	18	18	37	18,1	1250
3	27	4,5	24	17	35	26,5	1860
3,5	24	4,6	24	18	40	38,5	2600
4	22	4,76	24	20	47	52,5	3500
4,5	21	4,95	24	22	52	75	4900

Примечание. Глубина погружения диска 8—10 см.

Аэротенки с пневматической аэрацией

В отечественной практике получили наибольшее распространение аэротенки с пневматической аэрацией. Такой аэротенк представляет собой прямоугольный в плане железобетонный резервуар, состоящий из

одной или нескольких секций. Каждая секция разделена на коридоры продольными перегородками, не доходящими до противоположной торцовой стены резервуара. По этим коридорам последовательно из одного в другой проходит сточная вода.

Поперечное сечение коридоров аэротенков — прямоугольное или квадратное. Глубину аэротенков H чаще всего принимают равной 3—6 м, ширину $B \leqslant 2H$; длину аэротенков рекомендуется назначать не менее $10B$.

Допускается устройство аэротенков круглой в плане формы, а также совмещенных с первичными и вторичными отстойниками.

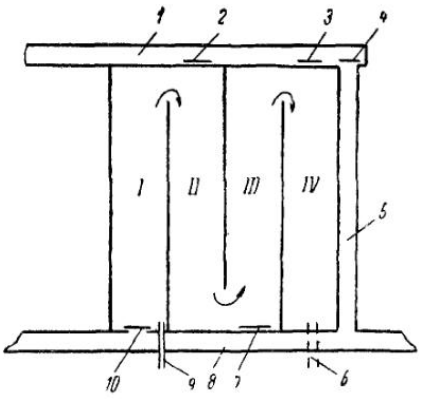


Рис 4 127. Четырехкоридорный аэротенк

1 — распределительный канал перед аэротенками; *2, 3, 7, 10* — водосливы; *4* — шибер на канале; *5* — средний канал; *6* — дюкер; *8* — распределительный канал за аэротенками; *9* — трубопровод возвратного активного ила

Однокоридорные аэротенки обычно применяют на очистных станциях небольшой пропускной способности при работе по схеме без регенераторов, когда отстоенная вода и возвратный активный ил подаются в верховую часть коридора. Распределительный канал отстоенной воды расположен с верховой стороны коридора, а распределительный канал иловой смеси — с низовой стороны.

Двухкоридорные аэротенки удобно применять при регенерации активного ила, когда объем регенераторов составляет 50% общего объема сооружений, а также при небольших и средних пропускных способностях станции аэрации.

Трехкоридорные аэротенки удобны для работы без регенерации ила.

Наиболее гибкими, позволяющими применять любую схему работы, являются четырехкоридорные аэротенки. Такие аэротенки построены на Курьяновской и Люберецкой станциях аэрации (Москва).

Четырехкоридорный аэротенк может работать с отдельной регенерацией ила и без нее (рис. 4.127). Если аэротенк работает без отдельной регенерации, то сточная вода из первичных отстойников поступает в распределительный канал *1* перед аэротенками, затем при открытом шибере на водосливе *2* проходит через аэротенк, а затем по каналу *5* — в распределительный канал *8* за аэротенками и подается через водослив или затопленное отверстие *10* в коридор *I*. Возвратный ил из вторичных отстойников подается в коридор *I* по трубопроводу. Иловая смесь, пройдя последовательно коридоры *I*, *II*, *III* и *IV*, дюкером отводится во вторичные отстойники.

Если аэротенк работает с 25%-ной регенерацией ила, то сточная вода из канала *1* через водослив (или затопленное отверстие) *2* подается в начало коридора *II*. Возвратный ил по трубопроводу подается в коридор *I*. В этом случае коридор *I* называется регенератором, а коридоры *II—IV* — собственно аэротенком. Если регенерация ила 25%-ная, то для нее отводится 25% расчетного объема аэротенков (коридор *I*); если регенерация ила 50%-ная, то 50% расчетного объема аэротенков (коридоры *I* и *II*); если регенерация ила 75%-ная, то 75% расчетного объема аэротенков (коридоры *I—III*).

При 50%-ной регенерации ила сточная вода подается в начало коридора *III* через водослив *7*, а иловая смесь отводится в конце коридора *IV* дюкером.

При 75%-ной регенерации ила сточная вода подается в коридор *IV* через водослив *3*. Под регенерацию ила отводятся коридоры *I—III*.

На рис. 4.128 показан типовой четырехкоридорный аэротенк, конструкция которого разработана ЦНИИЭП инженерного оборудования. Длина коридора аэротенка 84 м. Коридоры аэротенка могут быть шириной 4,5,6 и 9 м. При ширине коридора 4,5 м рабочая глубина аэротенка составляет 3,2 и 4,4 м, а при ширине 6 и 9 м — 4,4 и 5 м. Такой аэротенк работает по принципу аэротенка-вытеснителя.

Аэротенк может работать с 25%-ной регенерацией ила, когда сточная вода подается в начало коридора *II* из верхнего канала осветленной воды, а регенератором служит коридор *I*, куда подается циркулирующий (возвратный) активный ил по трубопроводу.

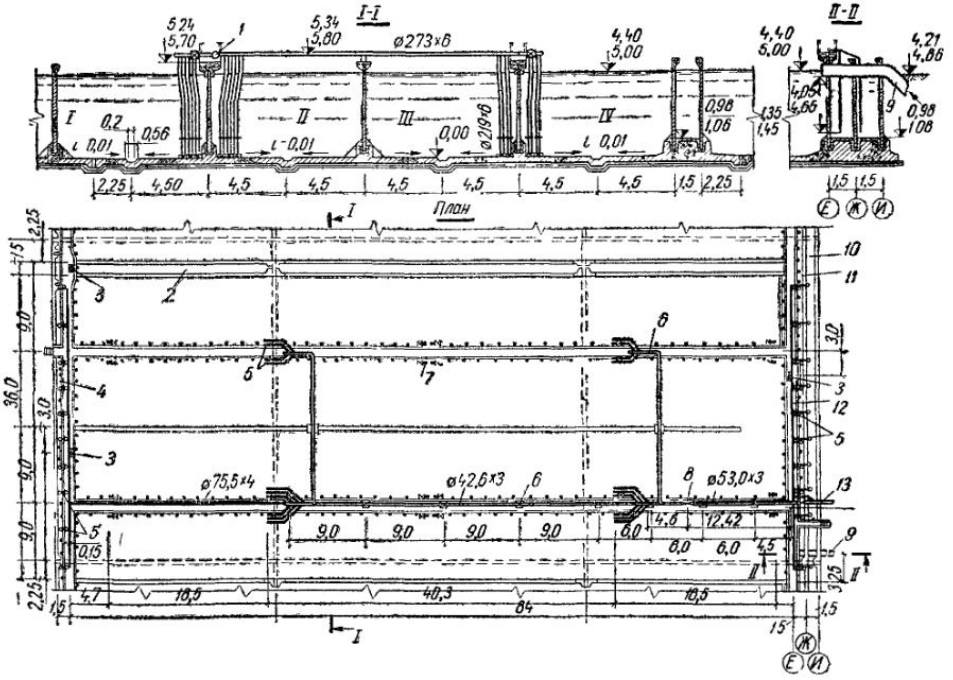


Рис 4 128 Типовои четырехкоридорный аэротенк, разработанный ЦНИИЭП инженер ного оборудования (диаметры указаны в мм)

1 — воздуховод, *2* — средний канал, *3* — щитовой затвор, *4* — верхний канал осветленной воды *5* — воздушные стояки, *6* — скользящая опора, *7* — водовыбросные стояки, *8* — труба Вентури, *9*—трубопровод циркулирующего активного ила (от распределительной камеры), *10* — распределительный канал вторичных отстойников, *11* — нижний канал осветленной воды, *12* — воздуховод на канале, *13* — воздуховод секции

При 50%-ной регенерации ила сточная вода подается в начало коридора *III* из нижнего канала осветленной воды.

Воздух диспергируется с помощью фильтросных пластин, уложенных в бетонных каналах, которые устраивают в дне аэротенка вдоль продольной стенки его коридора.

В коридорах *I* и *II* укладывают по три ряда фильтросных пластин, а в коридорах *III* и *IV* — по два ряда.

Для удаления воды из подфильтросных каналов в период пуска воздуходувок в работу служат водовыбросные стояки диамером 60 мм.

Для предотвращения выпадения взвешенных веществ и активного ила в верхнем и нижнем каналах осветленной воды, а также в распределительном канале вторичных отстойников воздух подается через воздушные стояки диаметром 33,5 мм.

На Курьяновской станции аэрации (Москва) запроектированы четырехкоридорные аэротенки с отдельной регенерацией активного ила. Коридор аэротенка имеет длину 133 м, высоту 4 м и ширину 8 м.

Ранее отмечалось, что для биологической очистки смеси бытовых и производственных или только производственных сточных вод чаще всего применяют аэротенки-смесители.

На рис. 4.129 показан аэротенк-смеситель, разработанный Гипрокоммунводоканалом.

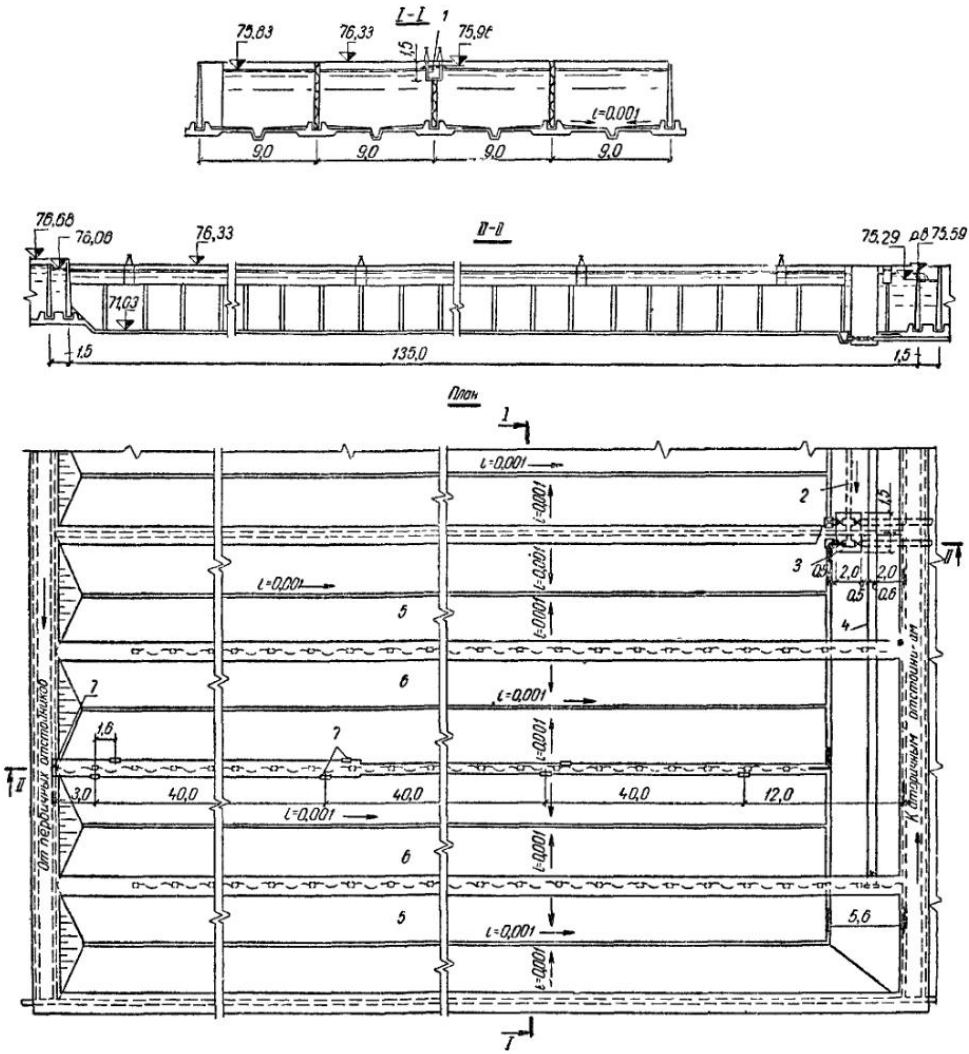


Рис. 4.129. Аэротенк-смеситель

1 — распределительный лоток; *2* — трубопровод опорожнения аэротенков и вторичных отстойников; *3* — камера задвижек опорожнения; *4* — лоток активного ила; *5* — регенераторы, *6* — аэротенки; *7* — щитовые затворы

Каждая секция аэротенка состоит из двух коридоров, один из которых является регенератором, а другой — собственно аэротенком. Регенератор отделен от аэротенка легкой стенкой из волнистого шифера. Длина коридора аэротенка 135 м, ширина 9 м, рабочая глубина 5 м.

Сточная вода подается в коридор собственно аэротенка рассредоточенно через отверстия, расположенные на расстоянии 40 м друг от друга.

Аэротенк снабжен трубопроводами для его опорожнения. Днище коридора аэротенка имеет уклон 0,001 к его середине, где устроен лоток опорожнения.

Фирмой «Дегремон» (Франция) разработано несколько конструкций,

совмещающих аэротенк коридорного типа со вторичным отстойником и называемых *оксиконтактом* (рис. 4.130).

Осветленная сточная вода подается в аэрационную часть (аэротенк), из которой иловая смесь направляется в отстойную часть (вторичный отстойник). Распределение воздуха производится равномерно по всей

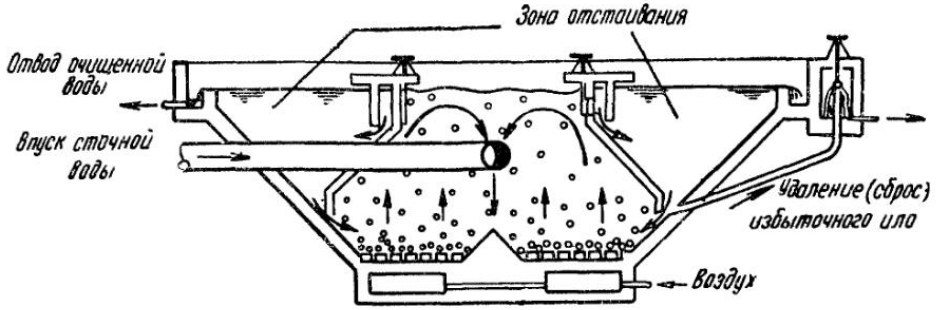
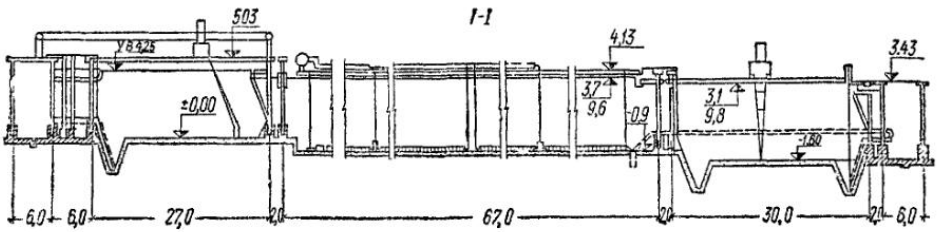


Рис 4.130. Оксиконтакт



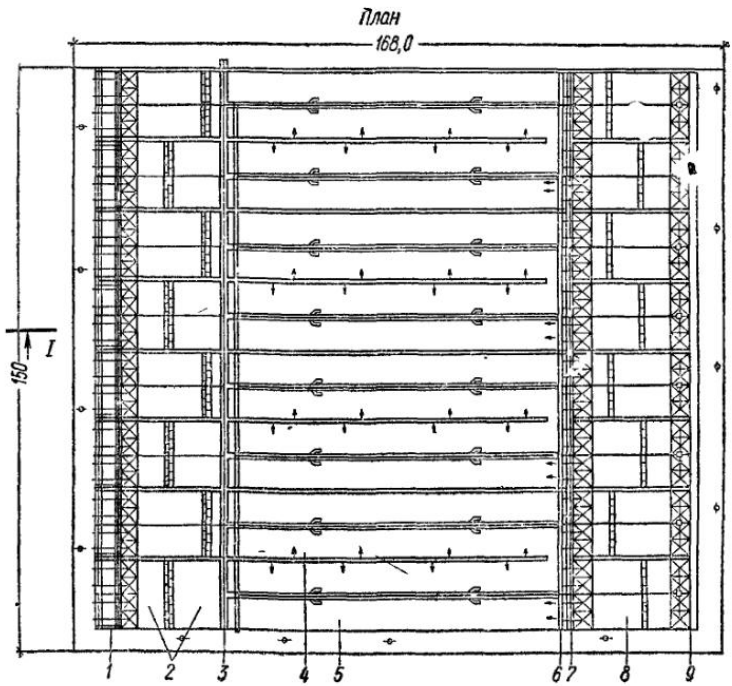


Рис. 4.131 Единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками

1 — преаэратор, *2* — первичные отстойники; *3* — распределительный канал аэротенков, *4* — распределительный лоток аэротенков; *5* — аэротенк; *6* — лоток активного ила; *7* — распределительчый канал вторичных отстойников; *8* — вторичный отстойник, *9* — контактный канал

площади аэротенка с помощью аэраторов «Вибрэйр», вмонтированных в днище. Вследствие аэрации происходит подсос (возврат) активного ила, отделившегося в отстоенной части. Избыточный активный ил периодически удаляют.

Известно, что чем компактнее запроектированы очистные сооружения, тем меньше протяженность связывающих их коммуникаций, занимаемая площадь и их строительная стоимость. На рис. 4.131 показаны очистные сооружения пропускной способностью 160 тыс. м³/сутки, в которых соединены в единый блок первичные горизонтальные отстойники с преаэраторами и четырехкоридорные аэротенки с регенераторами при рассредоточенном впуске сточной воды.

Расчет воздуховодов

Расчет воздуховодов состоит в подборе диаметров трубопроводов и в определении потерь напора в них. В целях экономии металла необходимо стремиться к уменьшению диаметров труб, но в то же время потери напора в них не должны быть слишком большими во избежание излишнего расхода электроэнергии.

Скорость движения воздуха в общем и распределительном воздуховодах обычно принимают равной 10—15 м/с; в воздуховодах небольшого диаметра, подающих воздух в лотки под фильтросы, — 4—5 м/с.

При подборе диаметров воздуховодов и определении потерь напора пользуются различными приемами.

Общее гидравлическое сопротивление в воздуховоде h, м, складывается из потерь на трение по длине и местных сопротивлений:

$$h = h_{тр} + h_м = \frac{\lambda l}{D}\frac{v^2}{2g}\gamma + \frac{\zeta v^2}{2g}\gamma = \left(\frac{\lambda l}{D} + \zeta\right)\frac{v^2}{2g}\gamma, \qquad (4.270)$$

где $h_{тр}$ — потеря напора в воздуховоде на трение по длине, м;
$h_м$ — местные потери напора, м;
λ — коэффициент сопротивления;
l и D — длина и диаметр трубопровода, м;
v — скорость движения воздуха в трубопроводе, м/с;
g — ускорение свободного падения, м/с²;
γ — плотность воздуха, кг/м³;
ζ — суммарный коэффициент местных сопротивлений.

Коэффициент сопротивления λ находят по различным формулам, например

$$\lambda = 0{,}0125 + \frac{0{,}011}{D}.$$

Суммарная величина местных сопротивлений и сопротивления на трение в воздуховодах не должна превышать 0,3—0,35 м.

Сопротивление в фильтросах зависит от скорости прохода через них воздуха. По техническим условиям сопротивление фильтросных пластин при проходе через них 2 м³/мин воздуха на 1 м² площади поверхности пластины не должно превышать 200 мм. Практически, как указывалось ранее, сопротивление пластин быстро возрастает, поэтому при определении общего напора воздуходувки сопротивление через фильтросы следует принимать 500—800 мм.

Требуемый общий напор $H_{общ}$, м, при распределении воздуха фильтросами будет:

$$H_{общ} = h_{тр} + h_м + h_ф + H, \qquad (4.271)$$

где H — глубина воды в аэротенке (от поверхности до фильтросов), м.

Полное давление воздуха, p_2, кПа,

$$p_2 = 10^2 + H_{общ}. \qquad (4.272)$$

Мощность компрессора N, кВт,

$$N = \frac{zq \cdot 0{,}278}{1000\eta}, \tag{4.273}$$

где z — работа в кДж, затрачиваемая на сжатие 1 м^3 воздуха от начального p_1 до конечного p_2 давления:

$$z = 13{,}1\left(p_2^{0{,}29} - 26{,}3\right), \tag{4.274}$$

η — к. п. д. компрессора, равный 0,75;
q — расход воздуха, м^3/ч.

Тогда

$$N = \frac{13{,}1\left(p_2^{0{,}29} - 26{,}3\right) q \cdot 0{,}278}{1000\eta}. \tag{4.275}$$

На воздуходувной станции следует устанавливать не менее двух воздуходувок — рабочую и запасную. Для обеспечения маневренности во время эксплуатации лучше устанавливать не менее двух рабочих воздуходувок. Воздуходувки подбирают по каталогу исходя из общей потери напора и расчетного расхода воздуха.

При благоприятных условиях в зарубежной практике допускается установка воздуходувок в непосредственной близости к аэротенкам.

Циркуляционные окислительные каналы

За последние годы все более широкое распространение для биологической очистки небольших объемов сточных вод находят циркуляционные окислительные каналы (ЦОК).

ЦОК обычно устраивают замкнутой О-образной формы в плане при расходе сточных вод до 200 м^3/сутки. Они могут обеспечить полную биологическую очистку с $БПК_5$ 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 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 м^2 на одного жителя. Дренажные воды желательно направлять в ЦОК для очистки.

Наиболее стабильна работа ЦОК в южных районах и в средней полосе СССР. Имеется опыт применения ЦОК для очистки сточных вод мясокомбинатов и кожевенных заводов.

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 (рис. 4.132).

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 ча-

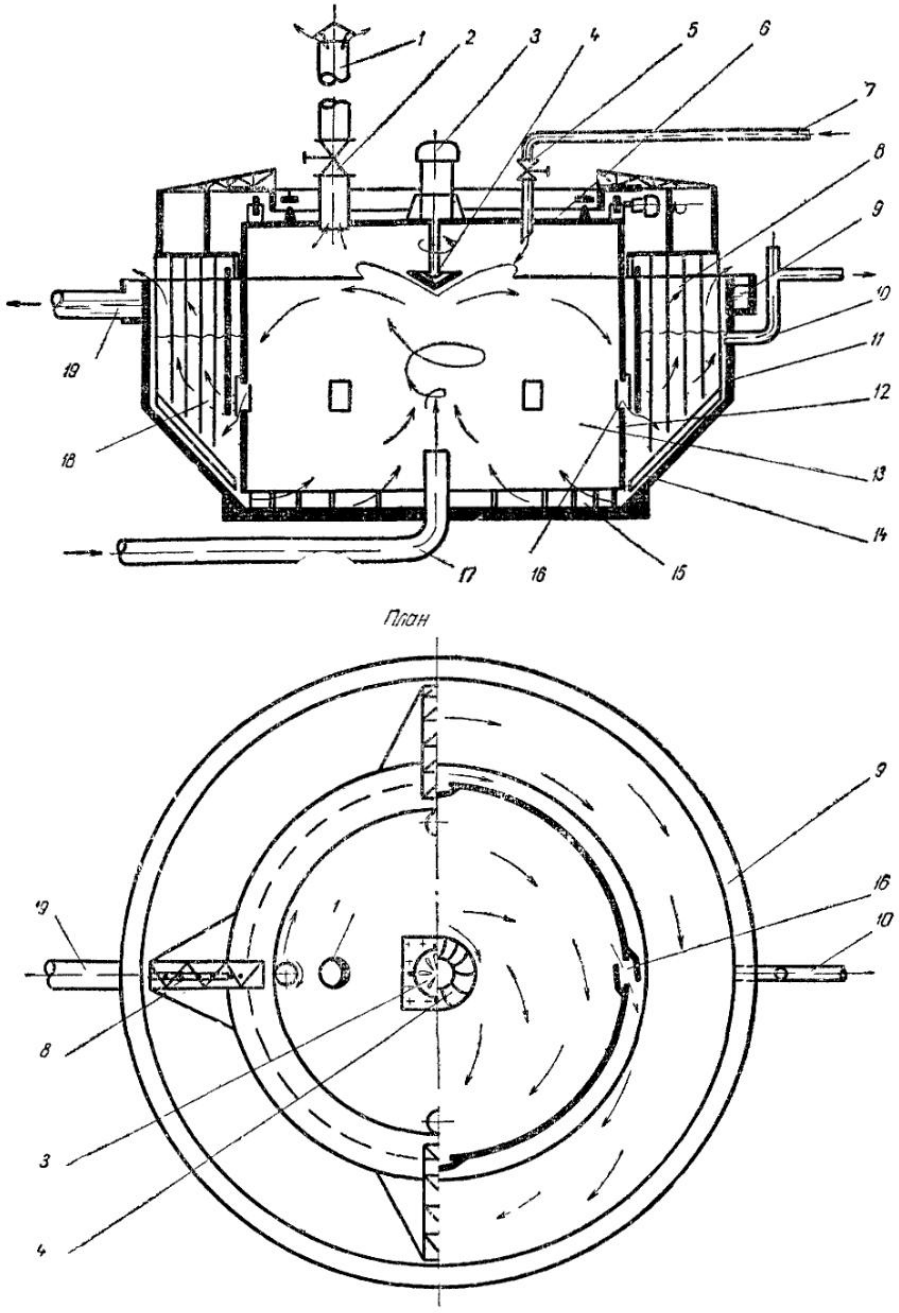


Рис 4 132 Окситенк

1 — продувочный трубопровод, *2* и *5* — задвижки с электрическим приводом, *3* — электродвигатель; *4* — турбоаэратор, *6* — герметическое перекрытие, *7* — трубопровод подачи кислорода *8* — вертикальные стержни, *9* — сборный лоток, *10* — труба для сброса избыточного ила, *11* — круглый резервуар, *12* — цилиндрическая перегородка, *13* — зона аэрации, *14* — скребок, *15* — окна для поступления возвратного ила в зону аэрации, *16* — окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель, *17* — труба для подачи сточной воды в зону аэрации, *18* — илоотделитель, *19* — труба для отвода очищенной воды

сти 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 электрозадвижками.

Илоотделитель оборудован перемешивающим устройством, представляющим собой радиально расположенные решетки из вертикальных стержней $d=30...50$ 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 активного 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 окситенка при очистке сточных вод от химических производств являются: концентрация растворенного кислорода 10—12 мг/л (в аэротенках 2—4 мг/л), доза ила 6—8 г/л (в аэротенках 2,5—3 г/л), период аэрации (включая пребывание в илоотделителе) 2,5—3 ч (в аэротенках 16—20 ч). Эффективность использования кислорода в окситенках 90—95%. При этом окислительная мощность окситенков выше, чем аэротенков, в 5—6 раз; капитальные затраты меньше в 1,5—2 раза; эксплуатационные — в 2,5—3 раза.

В настоящее время наиболее перспективно применение окситенков на объектах, которые имеют собственный технический кислород или могут

получать его от соседних предприятий (например, заводы по производству синтетического каучука, а также химические, коксохимические, нефтехимические и др.).

Расчет окситенков

Технологический расчет окситенков можно производить по формуле

$$t = \frac{L_a - L_t}{\rho C_и K_и}, \qquad (4.276)$$

где t — период аэрации (средняя продолжительность пребывания сточных вод в зоне аэрации и в циркуляционной зоне илоотделителя), ч;

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 (табл. 4.55).

Таблица 4.55

Ориентировочные значения коэффициента $K_и$

Концентрация ила, г/л	1	2	3	5	8	10	15
Коэффициент $K_и$	1,8	1,3	1	0,7	0,5	0,4	0,3

Величина ρ для любой степени очистки и концентрации растворенного кислорода может быть рассчитана по формуле

$$\rho = \frac{V_{макс}[O_2] L_t}{[O_2] L_t + \overline{K}_{02} L_t + \overline{K}_2 [O_2]}, \qquad (4.277)$$

где $[O_2]$ — концентрация растворенного кислорода в иловой смеси;

$V_{макс}$, $\overline{K}_2$, $\overline{K}_{02}$ — предельные значения кинетических параметров, определяемые опытным путем по специальной методике.

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 окситенка.

§ 112. ВТОРИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ И ИЛОУПЛОТНИТЕЛИ

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:

$$h = vt \cdot 3600; \tag{4.278}$$

$$W = \frac{QtK_ч}{24}; \tag{4.279}$$

$$F' = W/h. \tag{4.280}$$

Здесь h — рабочая глубина отстойника, м;
v — скорость движения воды, определяемая по графику, м/с;
t — продолжительность отстаивания, ч;
W — общий объем проточной части всех отстойников, м³;
Q — расход воды, м³/сутки;
$K_ч$ — 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 (табл. 4.56).

Таблица 4.56

Исходные данные для расчета вторичных отстойников

Назначение отстойников	Продолжительность отстаивания жидкости при максимальном притоке, ч		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
» 80	1	1	5	0,5
После аэротенков на полную очистку	1,5	1,5	5	0,5

Центральную трубу рассчитывают на суммарный расход сточной воды q и активного ила $q_{ил}$ при скорости протока 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).

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 потока 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 табл. 4.57.

Таблица 4.57

Вынос взвешенных веществ, мг/л, из вторичных отстойников

Продолжительность отстаивания, ч	Вынос взвешенных веществ при БПК очищенной воды, мг/л					
	15	20	25	50	75	100
0,5	25	31	38	75	96	110
0,75	21	27	33	66	86	100
1	18	24	29	59	78	93
1,5	15	20	25	51	70	83

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—1,6 м³ на 1 м² площади зеркала воды.

Мосводоканалниипроект разработал типовые вторичные радиальные отстойники из сборного железобетона (табл. 4.58).

Таблица 4.58

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, м³		Расчетная пропускная способность, м³/ч при $T=1{,}5$ ч
				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

Вторичный радиальный отстойник диаметром 24 м показан на рис. 4.133. Смесь сточной воды и активного ила по подводящему трубопроводу диаметром 1200 мм направляется в центральное распределительное устройство. Последнее представляет собой вертикальную стальную трубу, переходящую наверху в плавно расширяющийся раструб, который оканчивается ниже горизонта воды в отстойнике. Выходя из

распределительного устройства, смесь попадает в пространство, ограниченное стенками металлического направляющего цилиндра высотой 1,3 м, который обеспечивает заглубленный выпуск иловой смеси в отстойную зону. Осветленная вода собирается через водослив сборным кольцевым лотком, из которого поступает в выпускную камеру. Активный ил, осевший на дно отстойника, удаляется самотеком под гидроста-

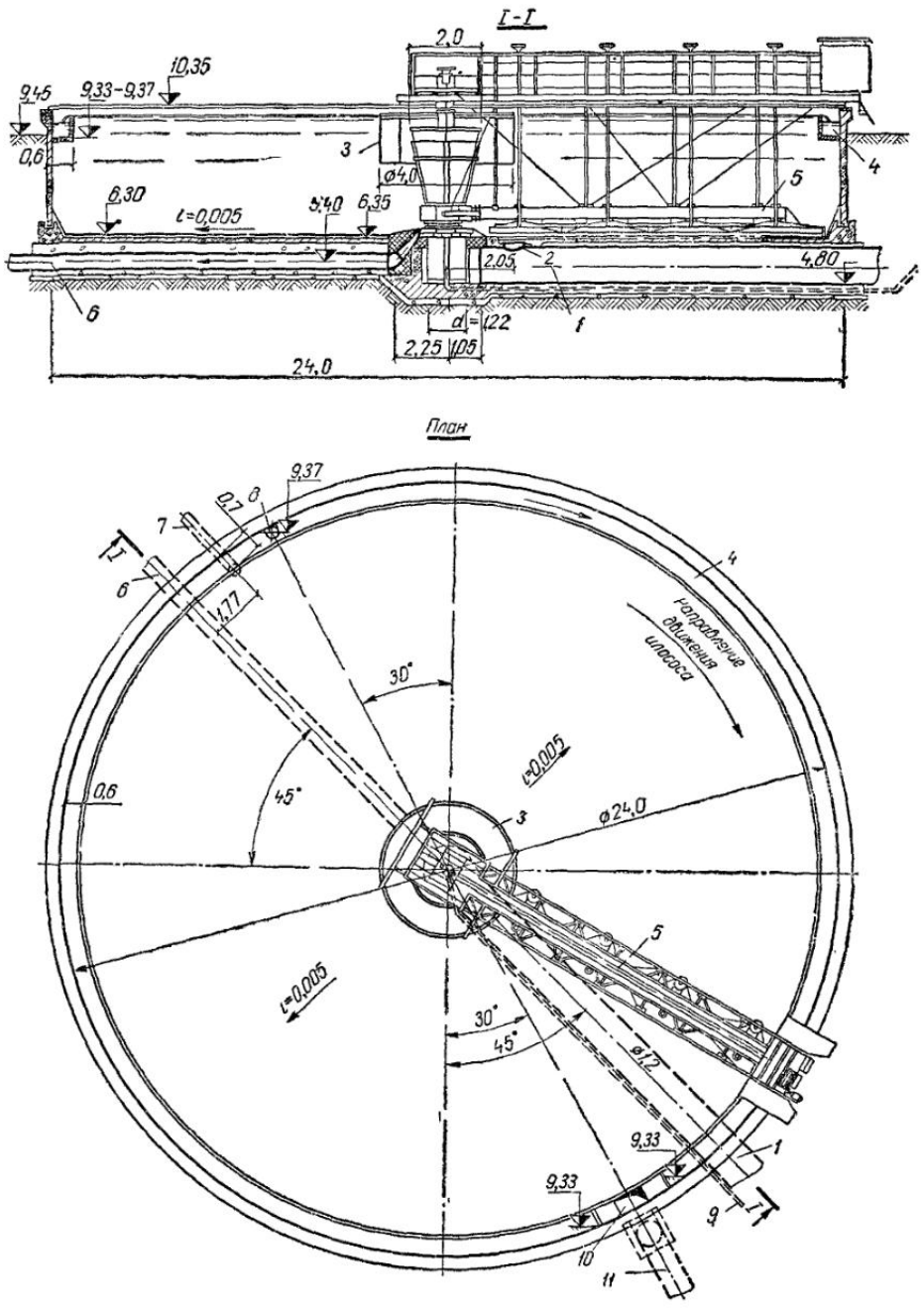


Рис. 4 133 Вторичный радиальный отстойник из сборного железобетона

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

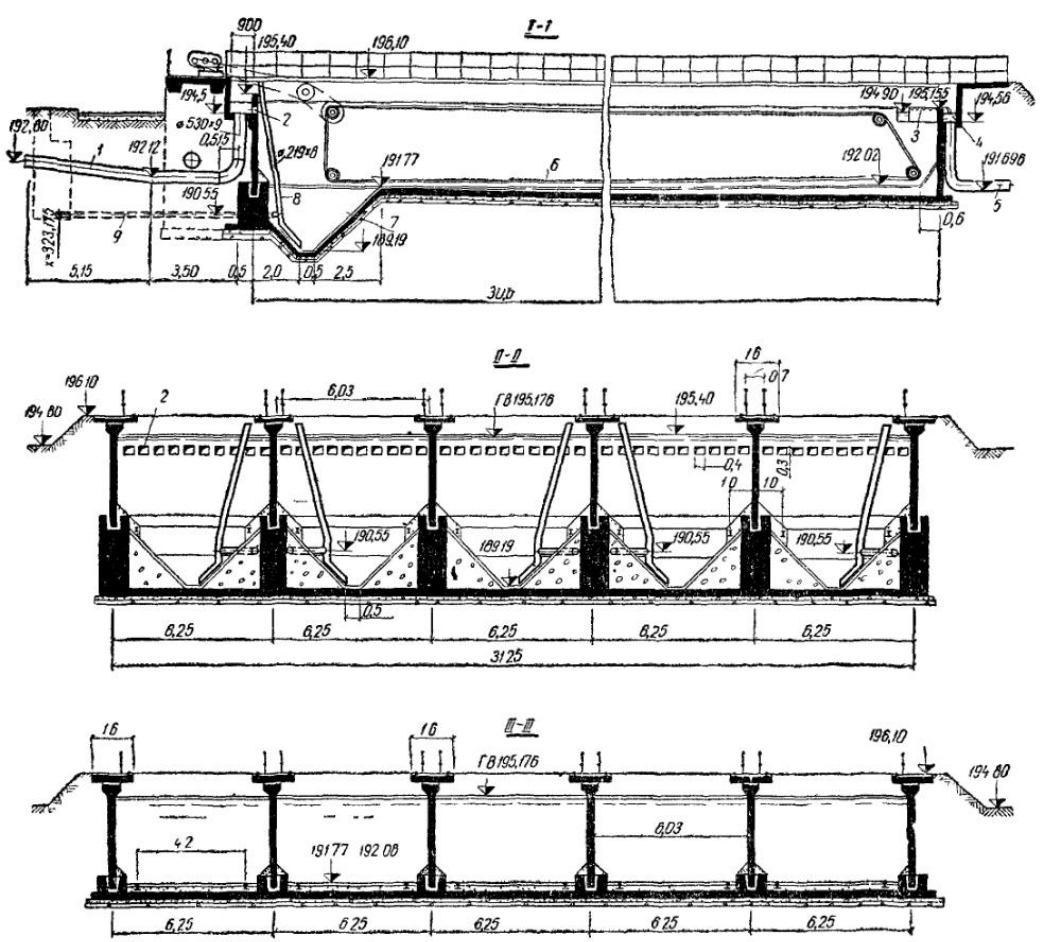


Рис 4 134. Вторичный горизонтальный отстойник (диаметры в мм)

1 — подающий трубопровод; *2* — затопленные щели, *3* — зубчатый водослив, *4* — сборный лоток; *5* — отводящая труба, *6* — скребковый механизм, *7* — иловый приямок, *8* — иловая труба, *9* — трубопровод опорожнения; *10* — датчики уровня ила, *11* — рельсы, *12* — люки →

тическим давлением с помощью илососа по трубопроводу в иловую камеру. В ней установлен щитовой электрифицированный затвор с подвижным водосливом, обеспечивающим возможность как ручного, так и автоматического регулирования отбора ила из отстойника путем плавного изменения гидростатического напора от 0 до 1,2 м.

Работа затвора автоматизируется в зависимости от уровня ила в отстойнике, который фиксируется датчиком уровня ила с фотосопротивлением.

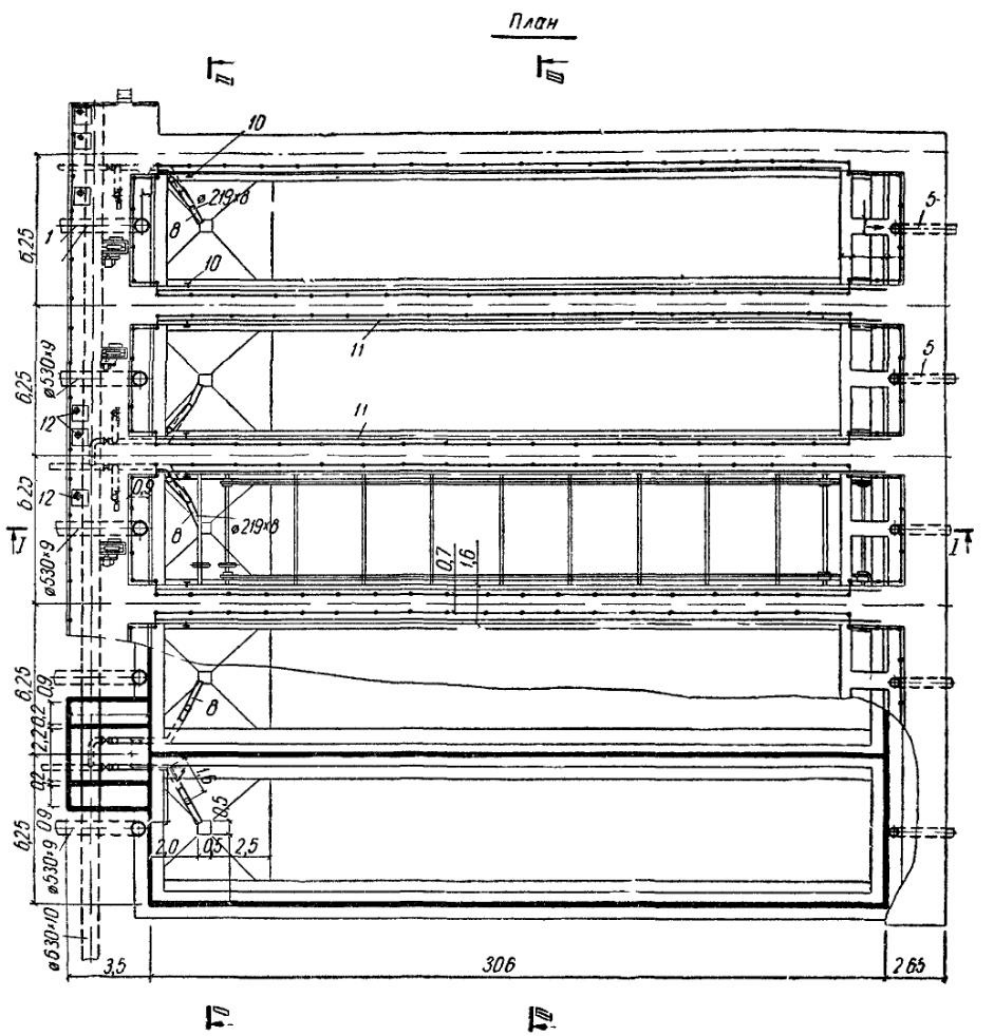
Для опорожнения отстойника служит трубопровод.

На рис. 4.134 показан вторичный горизонтальный отстойник станции аэрации г. Зеленограда.

Сточная жидкость подается по трубопроводу и распределяется по ширине коридора с помощью затопленных щелей. Осветленная вода собирается через зубчатый водослив в лоток, из которого вода отводится трубой.

В начале отстойника имеется иловый приямок, куда сгребается выпавший активный ил скребками, прикрепленными к цепям, которые приводятся в движение от электродвигателя через редуктор.

Из илового приямка активный ил удаляется под гидростатическим



давлением по иловой трубе. К этой же трубе присоединен трубопровод, служащий для опорожнения отстойника.

Отделение отстойника имеет длину 30 м, ширину 6 м и глубину зоны отстаивания 2,5 м.

ЦНИИЭП инженерного оборудования разработал конструкцию вторичного отстойника с периферийным впуском жидкости и илососом с центральным приводом (рис. 4.135).

Иловая смесь подается по трубопроводу 1 в периферийный лоток 2 с расположенными в дне его отверстиями, через которые распределяется жидкость. Затем жидкость направляется с помощью вертикальной кольцевой перегородки в нижнюю часть зоны отстаивания, оттуда, двигаясь в радиальном направлении и вверх к центру, переливается через зубчатый водослив *5*. Вода собирается кольцевым лотком *6* и отводится из отстойника по вертикальной трубе.

Выпавший ил удаляется илососом, соединенным с коллектором *10*, из которого ил направляется под гидростатическим напором в иловую трубу.

На крупных зарубежных станциях (в Англии, Чехословакии) также применяют вторичные отстойники со скребковыми устройствами. При

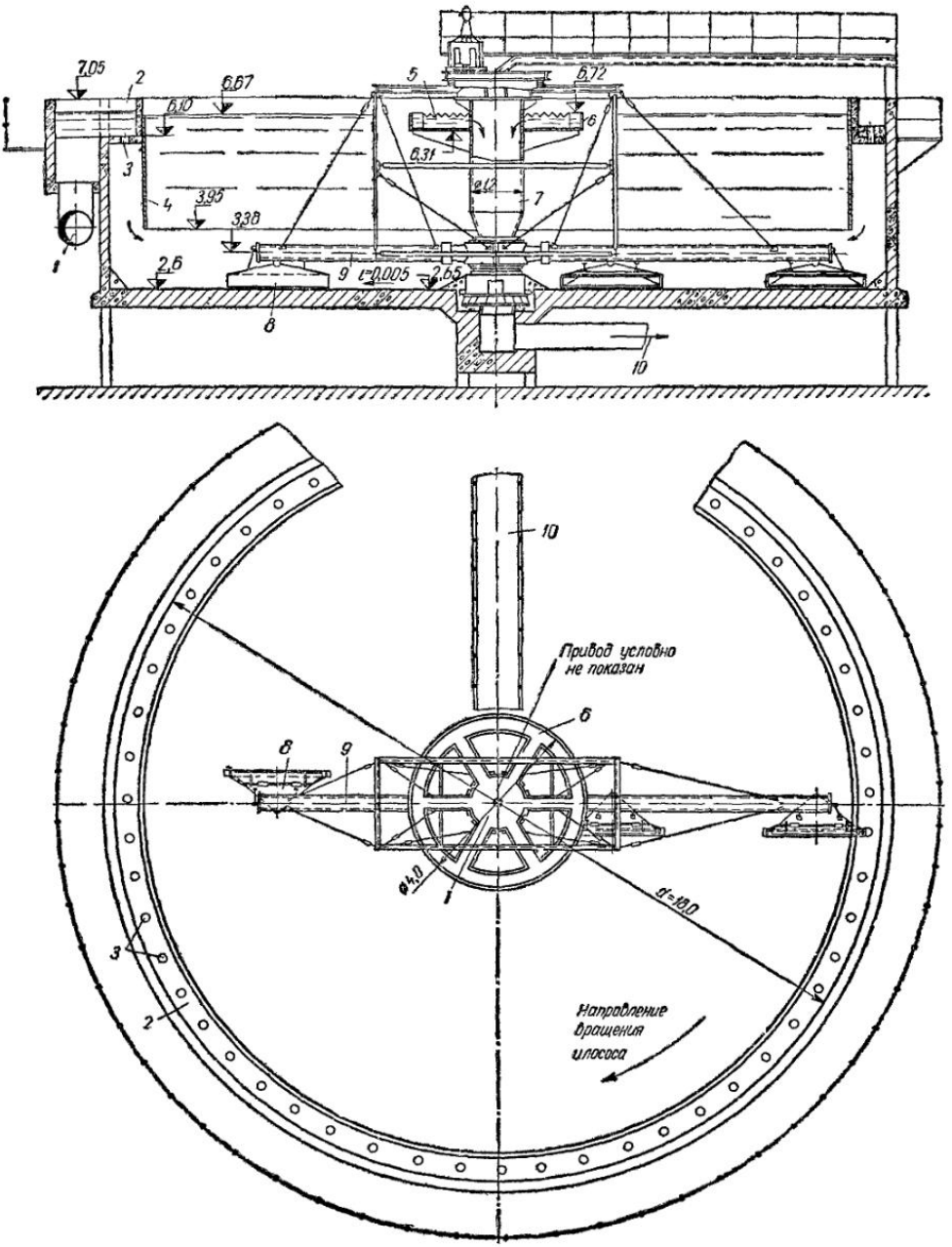


Рис. 4 135. Вторичный радиальный отстойник с периферийным впуском жидкости

1 — подводящий трубопровод, *2* — периферийный лоток, *3* — отверстия в лотке, *4* — вертикальная кольцевая перегородка, *5* — зубчатый водослив, *6* — кольцевой лоток для сбора воды, *7* — отводящая вертикальная труба, *8* — илосос, *9* — коллектор, *10* — трубопровод очищенной воды

этом влажность удаляемого ила оказывается примерно такой же, как и при удалении его илососами. Такой же способ удаления осадка из вторичных отстойников диаметром 54 м запроектирован для Ново-Курьяновской станции аэрации (Москва). Расчетная пропускная способность одного отстойника составляет 125 000 м³/сутки.

Илоуплотнители. Осаждающийся во вторичных отстойниках активный ил имеет высокую влажность (99,2—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 *избыточный активный ил*, который отделяется от рециркуляционного и направляется на дальнейшую переработку (в метантенки, на обезвоживающие установки, а также для использования в сельском хозяйстве).

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 табл. 4.59.

Таблица 459

Масса избыточного активного ила в зависимости от степени очистки сточной жидкости

$БПК_{20}$ очищенной жидкости при полной очистке, г/м³	Масса избыточного активного ила, г сухого вещества на 1 м³ жидкости	$БПК_{20}$ очищенной жидкости при частичной очистке, %	Масса избыточного активного ила, г сухого вещества на 1 м³ жидкости
15	160	50	170
20	200	60	190
25	220	70	210
		80	220

Для определения содержания избыточного активного ила P, мг/л, можно также пользоваться формулой, предложенной А. А. Карпинским:

$$P = \alpha B - b,$$

где α — коэффициент, принимаемый равным при работе аэротенков на полную очистку 1,25—1,35 (в среднем 1,3) и на неполную очистку 1—1,2 (в среднем 1,1);

B — вынос взвешенных веществ из первичных отстойников, мг/л;

b — вынос активного ила из вторичных отстойников, мг/л.

Прирост активного ила колеблется в течение года, уменьшаясь в летние месяцы. Максимальное его содержание $P_{макс}$, мг/л, определяется по формуле

$$P_{макс} = KP, \qquad (4.281)$$

где K — коэффициент месячной неравномерности прироста ила, равный 1,15—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:

$$q_{макс} = \frac{P_{макс} Q}{24C}. \qquad (4.282)$$

где $p_{макс}$ — 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:

$$h = 3{,}6vt, \tag{4.283}$$

где v — скорость движения жидкости, мм/с;
t — продолжительность уплотнения, ч.

При этом значения концентрации избыточного активного ила, продолжительность отстаивания, скорость движения жидкости в отстоенной зоне принимаются по данным табл. 4.60.

Таблица 4.60

Основные данные для расчета илоуплотнителей

Характеристика избыточного ила	Влажность уплотненного активного ила, %		Продолжительность уплотнения, ч		Скорость движения жидкости в отстойной зоне вертикального илоуплотнителя, мм/с
	Илоуплотнитель				
	вертикальный	радиальный	вертикальный	радиальный	
Активный ил из аэротенков, работающих на полную биологическую очистку:					
а) иловая смесь из аэротенков с концентрацией 1,5—3 г/л	—	97,3	—	5—8	—
б) активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 3,5—6,5 г/л	98	97,3	10—12	9—11	Не более 0,1
в) то же, с концентрацией 7—9 г/л	98	97,3	14—16	11—14	Не более 0,1
Иловая смесь из аэротенков, работающих на неполную биологическую очистку, с концентрацией 1,5—2,5 г/л	95	95	3	3	Не более 0,2

Полезная площадь поперечного сечения илоуплотнителя

$$F_{пол} = q_ж/3{,}6v, \tag{4.284}$$

где $q_ж$ — максимальное количество жидкости, м³/ч, отделяемой в процессе уплотнения ила:

$$q_ж = q_{макс}\frac{p_1 - p_2}{100 - p_2}; \tag{4.285}$$

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, м²,

$$f_{тр} = \frac{q_{макс}}{3600v_{тр}}, \tag{4.286}$$

где $v_{тр}$ — скорость движения жидкости в вертикальной трубе, равная 0,1 м/с.

Общая площадь илоуплотнителя, м²,

$$F_{общ} = F_{пол} + f_{тр}, \tag{4.287}$$

а диаметр одного илоуплотнителя, м,

$$D = \sqrt{\frac{4F_{общ}}{\pi n}}, \tag{4.288}$$

где n — принятое число илоуплотнителей.

Минимальное число илоуплотнителей принимают $n=2$, наибольший диаметр илоуплотнителя $D=10$ м.

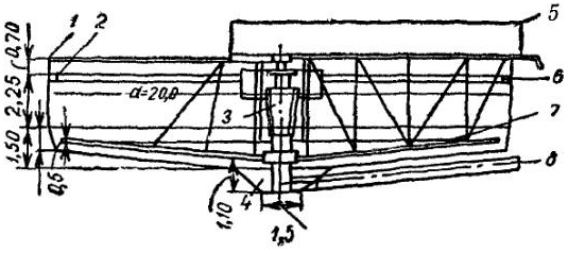


Рис. 4.136 Радиальный отстойник-илоуплотнитель Курьяновской станции аэрации

1 — рельсовый путь; *2* — лоток сечением 400×320 мм; *3* — центральная труба, *4* — приямок для устранения ила, *5* — мост; *6* — лоток для осветления жидкости; *7* — скребковый механизм; *8* — поступление избыточного ила

Объем иловой части илоуплотнителя

$$W_{ил} = q_{макс} \frac{100 - p_1}{100 - p_2} \frac{t_{ил}}{n}, \tag{4.289}$$

где $t_{ил}$ — 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,

$$H = h + h_к + h_н + h_щ + h_в, \tag{4.290}$$

где h — высота проточной части, м;

$h_к$ — высота конической части отстойника, м;

$h_н$ — высота нейтральной части, равная 0,3—0,5 м;

$h_щ$ — расстояние между центральной трубой и отражательным щитом, равное 0,5 м;

$h_в$ — 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 (рис. 4.136) и Люблинской станциях аэрации показал, что уплотненный ил имеет влажность до 97%.

Полезная площадь поперечного сечения радиального илоуплотнителя, м²,

$$F_{пол} = q_{макс}/q_0, \tag{4.291}$$

где $q_{макс}$ — максимальный расход поступающего в сооружение активного ила, м³/ч;

q_0 — расчетная нагрузка на площадь зеркала уплотнителя, м³/(м²·ч), принимаемая в зависимости от концентрации поступающего на уплотнение активного ила: при $C=2...3$ г/л $q_0=0{,}5$, а при $C=5...8$ г/л $q_0=0{,}3$.

Диаметр илоуплотнителя определяется по формуле (4.288).

Высота рабочей зоны илоуплотнителя

$$H = q_0 t,$$

где t — продолжительность уплотнения; принимается равной: при концентрации $C=2...3$ г/л $t=5...8$ ч, при концентрации $C=5...7$ г/л $t=10$ ч.

Общая высота илоуплотнителя, м,

$$H_{общ} = H + h + h_в, \qquad (4.292)$$

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);

$h_в$ — расстояние от уровня жидкости до верха сооружения, м.

Ил должен удаляться непрерывно. Частоту вращения илоскреба принимают 0,75—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 приямку.

При проектировании радиальных илоуплотнителей отношение диаметра к глубине следует принимать равным 6—7.

Уплотненный ил должен выпускаться непрерывно под гидростатическим напором 0,5—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.

Глава XXI

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ НАСЫЩЕНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КИСЛОРОДОМ. ВЫПУСК ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОЕМ

§ 113. 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 непосредственного 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

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HCl + HOCl.$$

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:

$$HOCl \lesssim HCl + O.$$

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:

$$2CaCl_2O + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2HOCl + CaCl_2.$$

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 сточ-

ной воды — величине наибольшей дозы хлора в мг/л, при введении которой после 30-минутного контакта остается избыточного хлора 0,5—1 мг/л. При повышении дозы избыточного хлора от 1 до 1,5 мг/л бактерии погибают быстрее.

На рис. 4.137 приведены данные об уменьшении числа бактерий в сточной воде после прохождения различных стадий очистки на Кожуховской станции аэрации (Москва).

Контроль за хлорированием сточной воды осуществляется проверкой фактического количества израсходованных реагентов по массе и определением избыточного хлора в воде после контакта ее с хлором.

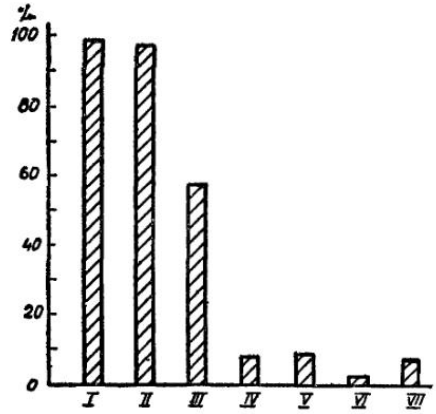


Рис. 4.137. Диаграмма снижения числа бактерий отдельными сооружениями очистной станции в процентах к числу бактерий в сточной воде, поступающей на очистку

I — поступающая сточная вода; *II* — после первичных отстойников; *III* — после аэротенков на неполную очистку (из вторичных отстойников); *IV* — после аэрофильтров; *V* — общий сток нехлорированный; *VI* — общий сток хлорированный; *VII* — в реке выше стока с очистной станции

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 иодометрическим методом.

Согласно СНиП, в проектах для предварительных расчетов дозы активного хлора следует принимать:

а) для сточной воды после механической очистки 10 г/м³;

б) для неполностью очищенной сточной воды в аэротенках или в высоконагружаемых биофильтрах 5 г/м³;

в) для полностью очищенной сточной воды 3 г/м³.

Дезинфекция больших масс воды, как правило, осуществляется хлоргазом; при малых количествах сточных вод (до 1000 м³/сутки) применяется хлорная известь.

Установка для дезинфекции сточной воды состоит из хлораторной, смесителя и контактных резервуаров.

В хлораторной устанавливают оборудование для приготовления водного раствора газообразного хлора или хлорной извести. Производительность хлораторной установки вычисляют, исходя из максимального расхода дезинфицируемой сточной воды $Q_{макс}$ и дозы хлора.

Общее количество активного хлора V, г/ч, требуемое для дезинфекции сточной воды, определяют по формуле

$$V_{макс} = aQ_{макс}, \qquad (4.293)$$

где a — доза активного хлора, г/м³;

$Q_{макс}$ — максимальный расход воды, м³/ч.

При работе хлораторной установки на газообразном хлоре должна быть обеспечена часовая подача хлора с учетом того, что балонный хлор содержит почти 100% активного хлора.

В случае дезинфекции хлорной известью ее расход q, г/ч, определяется по формуле

$$q_{макс} = \frac{100aQ_{макс}}{p}. \qquad (4.294)$$

где p — процентное содержание активного хлора в хлорной извести, обычно принимаемое равным 30%, учитывая потери хлора при хранении извести.

При дезинфекции хлорной известью активный хлор вводится в воду в виде хлорного раствора. Максимальный расход хлорного раствора, мл/мин, определяется по формуле

$$q_{\text{макс}}^{\text{изв}} = \frac{100aQ_{\text{макс}}}{pc_{\text{изв}}} = \frac{1000aQ_{\text{макс}}}{60} \cdot \frac{100}{pc_{\text{изв}}}, \tag{4.295}$$

где $c_{\text{изв}}$ — концентрация раствора хлорной извести, г/л.

Для установок, работающих на газообразном хлоре, расчеты максимальной струи хлорной воды (водный раствор газообразного хлора) упрощаются, так как в этом случае $p = 100\%$:

$$q_{\text{макс}}^{\text{хл}} = \frac{1000aQ_{\text{макс}}}{c_{\text{хл}} \cdot 60}. \tag{4.296}$$

Концентрация активного хлора в растворе хлорной извести, г/л, определяется соотношением

$$c_{\text{акт.хл}} = \frac{pc_{\text{изв}}}{100}. \tag{4.297}$$

Для хлорной воды концентрация активного хлора равна концентрации хлора в воде, т. е. $c_{\text{акт.хл}} = c_{\text{хл}}$.

Определив $q_{\text{макс}}^{\text{изв}}$ или $q_{\text{макс}}^{\text{хл}}$, производят расчет труб, подводящих воду к хлораторной установке, и сливных шлангов для хлорной воды или хлорного раствора.

§ 114. ДЕЗИНФЕКЦИЯ ХЛОРНОЙ ИЗВЕСТЬЮ И ГИПОХЛОРИТОМ КАЛЬЦИЯ

На очистных сооружениях пропускной способностью до 1000 м³/сутки для дезинфекции допускается применение хлорной извести, а также гипохлорита кальция.

Установка для дезинфекции сточных вод хлорной известью обычно состоит из затворных баков (одного или двух), двух растворных или рабочих баков и одного дозирующего бачка (рис. 4.138). В затворном баке производится затворение хлорной извести, в результате чего получают «молоко» концентрацией 10—15% (по активному хлору). Молоко поступает в один из растворных (рабочих) баков, где смешивается дополнительно с водой в количестве, необходимом для получения раствора с концентрацией 2,5% по активному хлору. Воду для приготовления раствора подают из водопровода или шахтных колодцев, а при их отсутствии используют очищенную сточную воду после контактного резервуара.

Из растворных баков хлорная вода поступает в дозирующий бачок и затем в смеситель.

Вместимость рабочего бака, м³, для раствора хлорной извести может быть определена по формуле

$$W = \frac{aQ}{10\,000bn}, \tag{4.298}$$

где Q — средний расход сточных вод, м³/сутки;

a — доза активного хлора, г/м³;

b — концентрация раствора хлорной извести, принимаемая равной не более 2,5%;

n — число затворений хлорной извести в сутки, принимаемое от 2 до 6 в зависимости от производительности станции.

Для получения строительных размеров бака необходимо добавить 15% полезного объема на осадочную часть и 0,1—0,15 м по высоте на борта. Растворные баки для хлораторной производительностью (по хлору) до 1 кг/ч выполняют круглыми деревянными, покрытыми изнутри цементным раствором, а производительностью до 2,5 кг/ч — железобетонными.

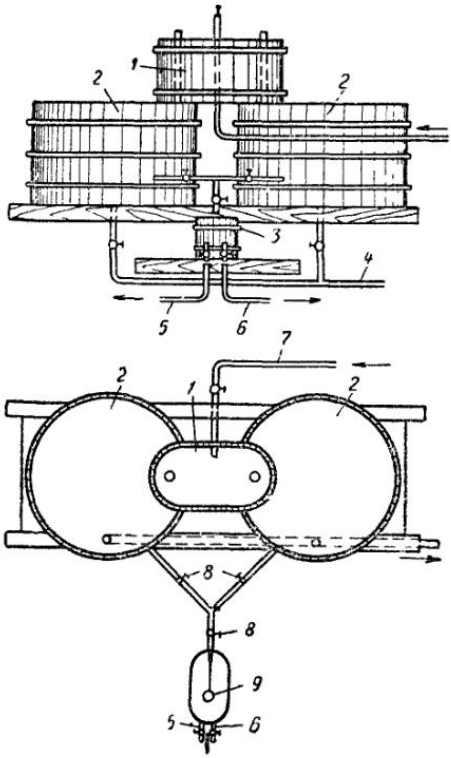


Рис. 4.138. Схема установки для дезинфекции сточной воды хлорной известью

1 — затворный бак; *2* — растворные баки; *3* — дозирующий бачок; *4* — водопровод; *5* — выпуск осадка; *6* — подача в смеситель; *7* — подача хлорного раствора; *8* — запорная арматура; *9* — шаровой кран

Дозирующий бачок имеет овальную форму в плане размером 0,5×0,4 м и высоту 0,5 м.

Все баки плотно закрывают крышками для предотвращения попадания хлора в помещение.

Трубы, транспортирующие хлорную воду, выполняют из антикоррозионных материалов (винипласт и др.), то же относится и к арматуре.

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.

§ 115. 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) осуществляются с помощью специального аппарата — хлоратора. Хлор к аппаратам подводится трубами из баллонов, контейнеров или бочек.

Производительность хлоратора $g_{хл}$, кг/ч, определяется по расходу хлора по формуле

$$g_{хл} = \frac{D_{хл} Q}{1000}, \qquad (4.299)$$

где $D_{хл}$ — доза хлора, устанавливаемая в зависимости от метода очистки воды, г/м³;

Q — количество очищаемой воды, м³/ч.

Хлораторы бывают различных типов, мощности и назначения. Отечественные типы хлораторов разделяются на приборы непрерывного

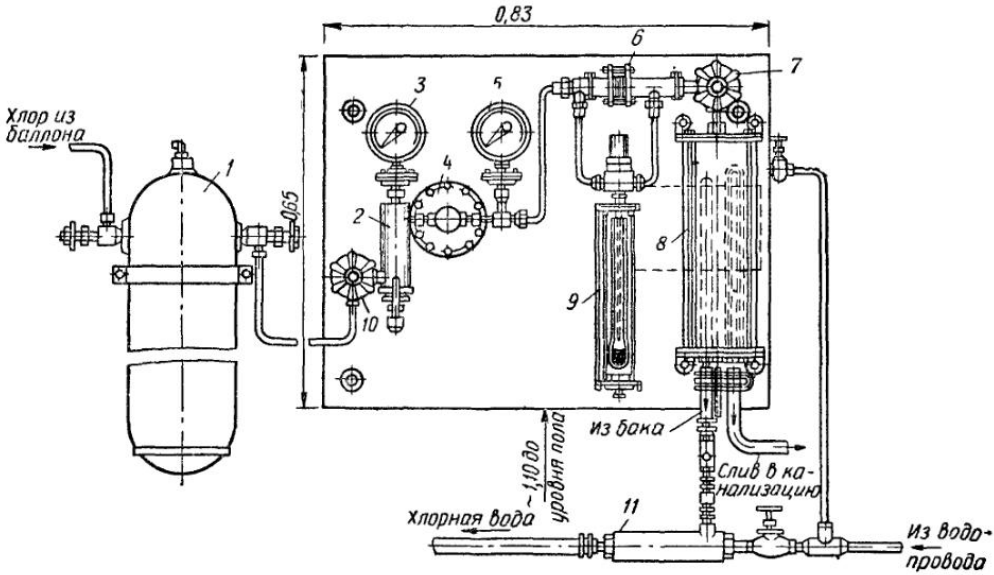


Рис 4.139. Вакуумный хлоратор

1 — промежуточный баллон; *2* — фильтр; *3* — манометр высокого давления; *4* — редукционный клапан, понижающий давление газа, поступающего из баллона; *5* — манометр низкого давления; *6* — дозатор хлора; *7* — регулирующий вентиль; *8* — смеситель; *9* — измеритель дозы хлора (дифференциальный жидкостный манометр); *10* — вентиль для включения и выключения хлоратора; *11* — эжектор

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).

На рис. 4.139 показана схема вакуумного хлоратора типа ЛОНИИ-100.

Вакуумные хлораторы производительностью 5—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—55 л (рис. 4.140). 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, хлоро-

провод, 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—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. Расход хлора из баллонов обычно определяют

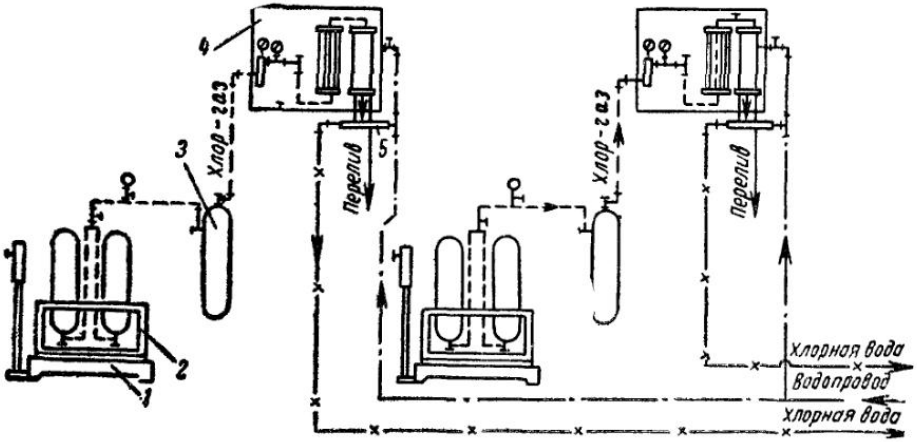


Рис. 4.140. Технологическая схема хлораторной производительностью до 5 кг/ч

1 — весы, *2* — стойки с баллонами; *3* — грязеуловители; *4* — хлораторы ЛОНИИ-100; *5* — эжекторы

при помощи весов, на которых размещают баллоны с жидким хлором.

При наличии двух весов на них могут быть установлены по четыре баллона — семь рабочих баллонов и один промежуточный. Указанное содержание хлора в этих баллонах достаточно для обеззараживания сточных вод до 40 000 м³/сутки при полной биохимической очистке.

При пропускной способности станции 40 000 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—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.

Хлораторная производительностью 10 кг хлора в 1 ч, совмещенная с расходным складом хлора на 8 т, приведена на рис. 4.141. Здание располагается вблизи места потребления хлорной воды и на расстоянии противопожарного разрыва от других производственных и административных зданий. В хлораторной установлены хлораторы ЛОНИИ-100 производительностью 5 кг/ч.

Из емкости газообразный хлор по трубопроводам проходит через грязевик и попадает в хлоратор. Перемещение газа обусловлено тем, что давление в баллоне выше атмосферного, в хлораторе же под действием эжектора создается пониженное давление.

Параметры типовых хлораторных для обеззараживания сточных вод хлором, разработанных ЦНИИЭП инженерного оборудования, приведены в табл. 4.61.

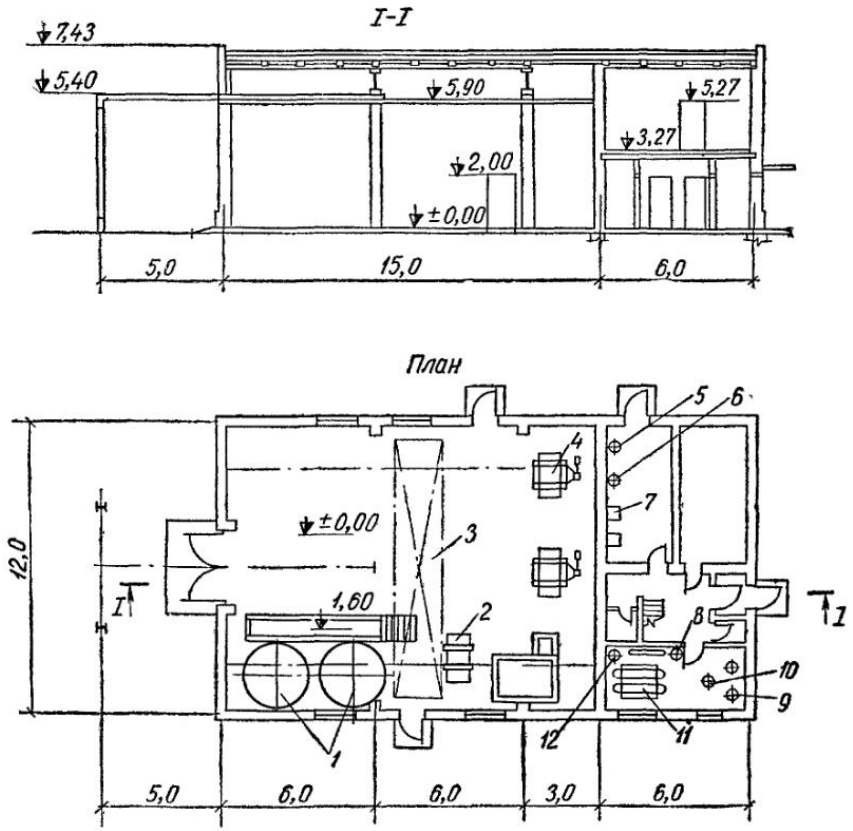


Рис. 4 141. Хлораторная производительностью 10 кг хлора в 1 ч, совмещенная с расходным складом

1 — баки для растворения реагентов; *2* — резервный контейнер; *3* — кран ручной подвесной грузоподъемностью 2 т; *4* — контейнеры с хлором на весах; *5* — грязевик; *6* — фильтр; *7* — хлораторы ЛОНИИ-100; *8* — холодильник для воздуха; *9* — адсорбционные колонны; *10* — калорифер; *11* — компрессоры ГАРО, модель 155-2; *12* — масловодоотделители

Таблица 4.61

Основные параметры типовых хлораторных

Производительность хлораторной, кг/ч	Вместимость склада хлораторной, т	Тара для доставки жидкого хлора
2	1,1	Баллоны
5	3,6	»
10	8	Контейнеры
30	25	»
50	30	Железнодорожные цистерны с розливом в контейнеры на базисных складах
100	42	То же

Вентиляция хлораторной предусматривается общеобменная с 12-кратным обменом воздуха в 1 ч, осуществляемым двумя центробежными вентиляторами типа ЭВР-3 с электродвигателем А-32-41. 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 сани-

тарного надзора при проектировании. Приток воздуха обеспечивается вентилятором на высоте 2,25 м от уровня пола. В зимнее время приточный воздух подогревается калориферами типа КФ6-41. 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.

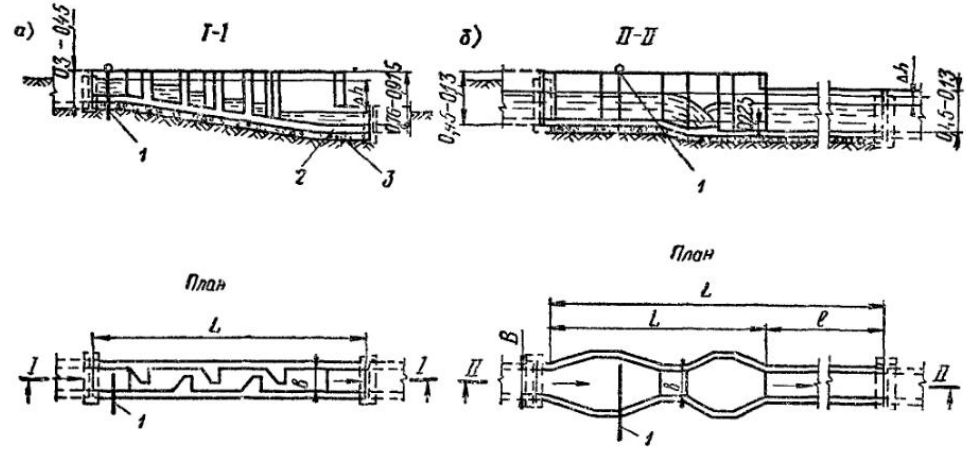


Рис 4 142 Смесители

а — ершовыи смеситель производительностью 12—1400 м³/сутки, *б* — смеситель типа «лоток Паршаля» пропускной способностью 1400—280 000 м³/сутки, *1* — подача хлорной воды, *2* — монолитное железобетонное днище марки 200, *3* — бетонная подготовка из бетона марки 50

В складе хлора следует предусматривать резервные емкости. Для поврежденных баллонов необходимо иметь специальные футляры.

Из хлоратора хлорная вода по полиэтиленовым или винипластовым трубам поступает в смеситель со сточной водой. Могут быть применены смесители любого типа. Наиболее простым является ершовый смеситель производительностью от 12 до 1400 м³/сутки. Он представляет собой лоток с пятью вертикальными перегородками, поставленными перпендикулярно или под углом 45°. Перегородки суживают сечение и создают вихреобразное движение, в результате чего хлорная вода хорошо смешивается со сточной. Скорость движения воды через суженное сечение смесителя должна быть не менее 0,8 м/с. Дно лотка смесителя устраивается с уклоном.

На рис. 4.142, *а* показан железобетонный ершовый смеситель. В зависимости от максимального расхода сточных вод (12—1400 м³/сутки) ширина смесителя *b* колеблется от 200 до 300 мм, длина *L* от 3,13 до 4,02 м, высота от 300 до 915 мм. Потери напора в ершовом смесителе составляют 0,465 м.

Для расходов сточных вод более 1400 и до 280 000 м³/сутки применяют смесители типа «лоток Паршаля». Этот смеситель (рис. 4.142, *б*) 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. Основные размеры и потери напора в смесителе этого типа приведены в табл. 4.62.

Таблица 4.62

Основные размеры смесителя типа «лоток Паршаля» и потери напора в нем

Пропускная способность смесителя, м³/сутки	Ширина горловины, мм	Ширина подводящего лотка B, м	Длина лотка L, м	Общая длина смесителя L_1, м	Потери напора Δh, м
1 400—4 200	230	300	5,85	7,17	0,1
4 200—7 000	230	450	5,85	9,47	0,14
7 000—32 000	500	600	6,1	13,63	0,2
32 000—80 000	1000	900	6,6	13,97	0,2
80 000—160 000	1000	1200	6,6	14,97	0,34
160 000—280 000	1500	1500	7,1	15,3	0,35

При хлорировании сточной воды чрезвычайно важное 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 V Международным конгрессом по водоснабжению 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 следующие: 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.

НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды АКХ имени К. Д. Памфилова (НИИ КВ и ОВ) совместно с ПКБ АКХ разработаны электролизные установки для получения на месте потребления обеззараживающего хлорреагента — гипохлорита натрия из обычной технической поваренной соли.

Электрохимический способ получения гипохлорита натрия основан на получении хлора и его взаимодействии со щелочью в одном и том же аппарате — электролизере.

При электролизе раствора NaCl в ванне без диафрагмы на аноде происходит разряд ионов хлора:

$$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e.$$

Выделяющийся хлор растворяется в электролите с образованием хлорноватистой и соляной кислот:

$$Cl_2 + H_2O \rightleftarrows HClO + HCl,$$

или

$$Cl_2 + OH^- \rightleftarrows HClO + Cl^-.$$

На катоде происходит расщепление молекул воды:

$$H_2O + e = OH^- + H^+.$$

Атомы водорода после рекомбинации выделяются из раствора в виде газа, оставшиеся же в растворе ионы OH^- образуют возле катода с ионами Na^+ щелочь.

При взаимодействии хлорноватистой кислоты со щелочью образуется гипохлорит натрия:

$$HClO + NaOH = NaClO + H_2O.$$

Если сравнить процессы, происходящие при введении в обрабатываемую воду гипохлорита натрия:

$$NaClO + H_2O = NaOH + HClO,$$

$$HClO \rightleftarrows H^+ + ClO^-$$

и хлорной извести:

$$2CaOCl_2 + 2H_2O \rightleftarrows 2HClO + CaCl_2 + Ca(OH)_2,$$

$$HClO \rightleftarrows H^+ + ClO^-,$$

то видно, что в обоих случаях образуются одни и те же бактерицидные агенты HClO и ClO^-. Таким образом, обеззараживание воды гипохло-

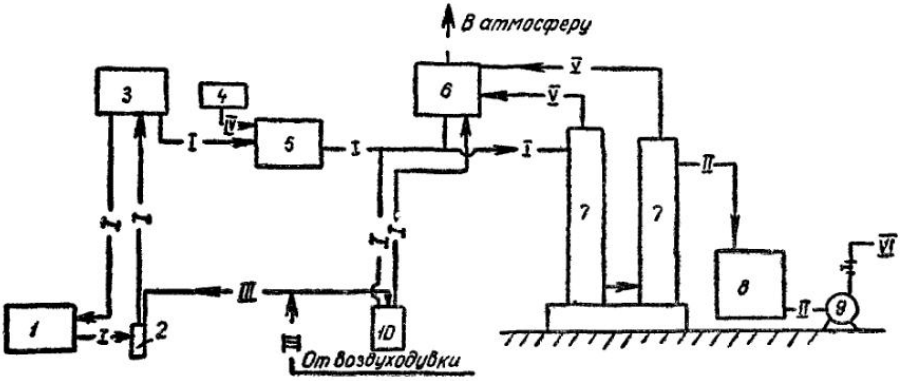


Рис. 4.143. Схема установки по обеззараживанию сточных вод электролизом

1 — бак хранения насыщенного раствора соли; *2* — эрлифт 1 подъема; *3* — воздухоотделитель; *4* — бачок постоянного уровня воды; *5* — дозатор-смеситель; *6* — газосборник; *7* — электролизеры; *8* — бак-накопитель дезинфектанта; *9* — насос-дозатор; *10* — рециркуляционный эрлифт; *I* — раствор соли; *II* — раствор гипохлорита натрия; *III* — подача воздуха; *IV* — подача воды; *V* — выпуск газов; *VI* — подача дезинфектанта в смеситель очищенной воды

ритом натрия методом электролиза представляет по существу один из видов хлорирования.

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—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.

На рис. 4.143 представлена схема электролизной установки для обеззараживания сточных вод продуктами электролиза, полученными из раствора поваренной соли. В приемный бак загружается поваренная соль, которая заливается водой и перемешивается до получения насыщенного раствора. Приготовленный раствор насосом подается в рабочий бак, где разбавляется водопроводной водой до рабочей концентрации 100—120 г/л. Из рабочего бака через дозатор электролит поступает в электролизер. Готовый продукт собирается в баке-накопителе, из которого дозируется в соответствии с колебаниями притока сточной воды. Контакт раствора соли со сточной водой должен длиться не менее 30 мин.

При использовании гипохлорита натрия обеззараживающий эффект, технологические показатели качества обрабатываемой воды и методы контроля такие же, как и при применении хлора или хлорной извести.

Техническая характеристика электролизной установки

Производительность по активному хлору, кг/ч	1—1,1
Концентрация электролита, г/л	100—120
Концентрация активного хлора, г/л	5—6
Расход электролита, м³/г	0,18—0.2
Напряжение общее на клеммах электролизера, В	60—62
Сила тока, А	120—130
Удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/кг хлора	6,6—6,7

На станции устанавливают до 4—5 параллельно работающих электролизных установок, из которых одна резервная.

Конструкции электролизных установок разработаны в АКХ имени К. Д. Памфилова, а типовой компоновочный проект — институтом Мосгипротранс. Хлораторные на электролитическом гипохлорите натрия разработаны с применением электролизеров ЭН-100 с графитовыми электродами, выпускаемыми серийно.

Обработка сточной воды гипохлоритом натрия по стоимости практически равноценна обработке хлором и в 1,5—2 раза дешевле, чем обеззараживание хлорной известью.

Применение электролиза сточной воды без внесения в нее хлоридосодержащих добавок осуществляется на небольших объектах и в сельских населенных пунктах, источником водоснабжения которых служат минерализованные подземные воды с высокими концентрациями хлоридов (100—1000 мг/л и выше).

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—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.

Из других методов дезинфекции можно назвать обеззараживание воды с помощью импульсных электрических разрядов, предложенное в Тамбовском медицинском институте. Этот метод не требует применения реагентов и относительно прост по конструктивному оформлению. Количество затрачиваемой на обеззараживание энергии относительно невелико. Эффект обеззараживания достигается и при наличии в воде органических примесей белкового характера.

Для обеззараживания очищенных сточных вод могут применяться также ультразвуковые колебания или облучение бактерицидными (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 полиэлектролитами достигается удаление вирусов на 90—95%, мутность при этом снижается на 90%.

§ 116. КОНТАКТНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Контактные резервуары предназначаются 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 происходят 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 2 раза больше.

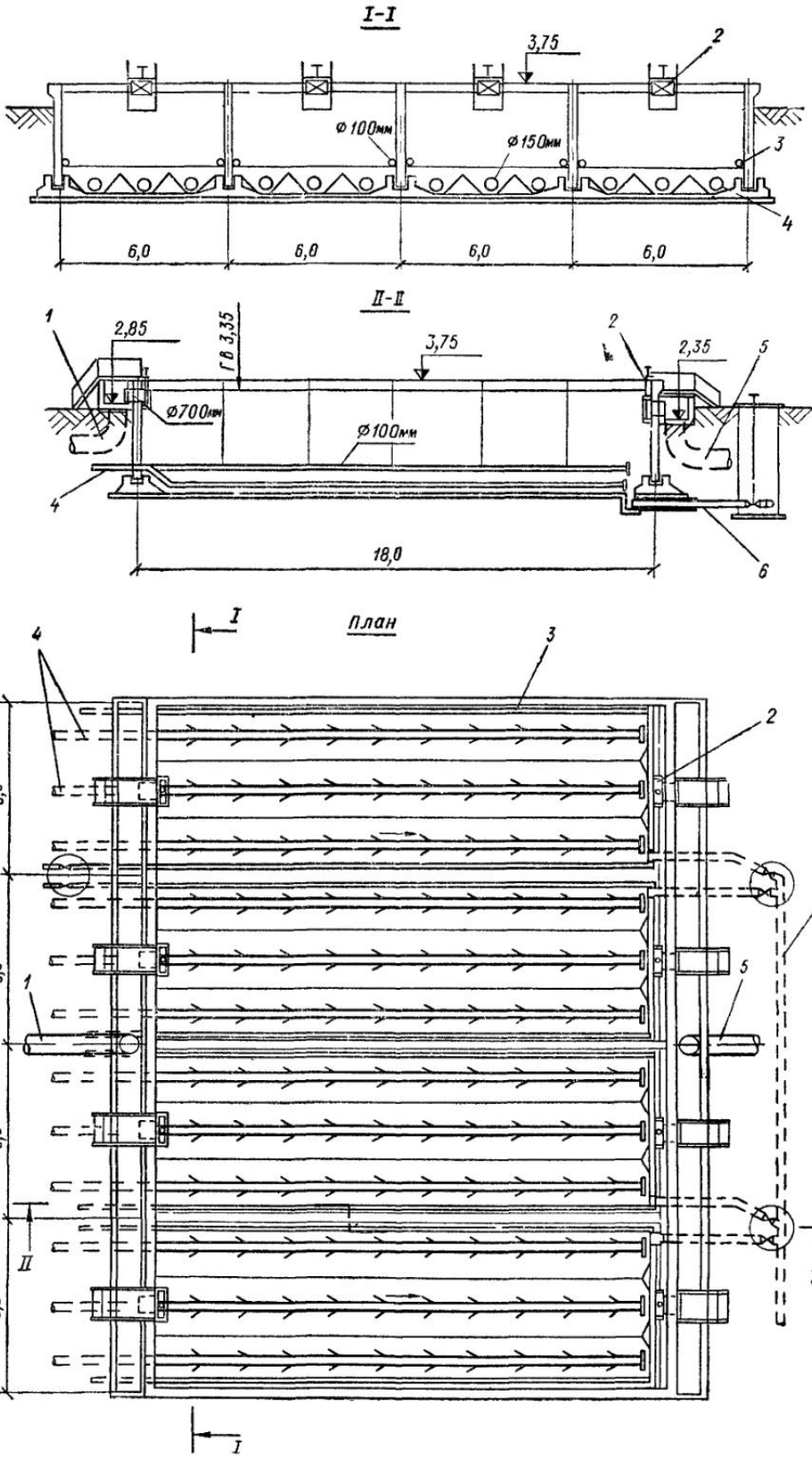
Влажность осадка в среднем составляет 96%. Удаление осадка из контактных резервуаров производится под гидростатическим давлением. Обезвоживание осадка может производиться без его предварительного сбраживания.

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, непо-

Рис. 4.144. Контактные резервуары

1 — подводящий трубопровод; *2* — шибер; *3* — воздуховод; *4* — трубопровод технической воды; *5* — отводящий трубопровод; *6* — трубопровод опорожнения


I-I
3,75
2
Ø 100мм
Ø 150мм
3
4
6,0
6,0
6,0
6,0
II-II
1
2,85
ГВ 3,35
3,75
2
2,35
5
Ø700мм
Ø100мм
4
18,0
6
I
План
4
3
2
6,0
6,0
6,0
6,0
1
6
5
II
II
I

средственно на иловые площадки для подсушки или же в начало системы очистных сооружений на повторный цикл очистки.

Новая конструкция контактного резервуара, разработанная ЦНИИЭП инженерного оборудования, представлена на рис. 4.144. Особенностью ее является ребристое днище, в лотках которого расположены трубопроводы. По продольным стенкам смонтированы аэраторы из перфорированных труб.

Для удаления осадка, которое может производиться один раз в 5—7 суток, соответствующая секция отключается, осадок взмучивается технической водой, поступающей из насадок у дна резервуаров, и смесь перекачивается в начало системы очистных сооружений. Для поддержания частиц во взвешенном состоянии во время перекачки смесь аэрируется. Основные размеры контактных резервуаров приведены в табл. 4.63.

Таблица 4.63

Размеры контактных резервуаров

Пропускная способность, тыс. м³/сутки	Число отделений	Размеры, м		
		ширина	длина	глубина
25	2	6	18	2,8
35	3	6	18	
50	4	6	18	
50	2	9	24	
70	3	9	24	
100	4	9	24	
100	3	9	36	
140	4	9	36	
140	3	9	48	
200	4	9	48	
280	6	9	48	

При необходимости дополнительного насыщения очищенных сточных вод кислородом перед спуском их в водоем предусматриваются специальные устройства. Так, например, содержание растворенного кислорода в очищенных сточных водах может быть повышено путем устройства во вторичных отстойниках водослива высотой 200 мм или в месте сброса сточных вод в отводящий коллектор. Многоступенчатые водосливы-аэраторы для очистных станций малой и средней пропускной способности при наличии свободного перепада уровней между площадкой очистных сооружений и горизонтом воды в водоеме и барботажные сооружения позволяют повышать содержание растворенного кислорода сравнительно легко до 50% насыщения.

При проектировании сооружений для насыщения сточных вод кислородом следует принимать:

а) для водосливов-аэраторов:

водосливные отверстия в виде тонкой зубчатой стенки с зубчатым щитом над ней (зубья стенки и щита обращены друг к другу остриями);

высоту зубьев — 50 мм, угол при вершине — 90°;

высоту отверстия (между остриями зубьев) — 50 мм;

длину колодца нижнего бьефа — 4 м, глубину — 0,8 м;

удельный расход воды $q = 120...160$ л/с на 1 м водослива;

напор воды на водосливе (отсчитывается от середины зубчатого отверстия), м:

$$h_{отв} = \left(\frac{q}{225}\right)^2; \qquad (4.300)$$

б) для барботажных сооружений:

аэраторы-фильтросы или перфорированные трубы;

расположение аэраторов равномерное по дну сооружения.

Количество ступеней водосливов-аэраторов n и величина перепада уровней z на каждой ступени, необходимые для обеспечения заданной концентрации кислорода $C_т$ в сточной воде на выпуске в водоем, определяются последовательным подбором из соотношения

$$\frac{C_р - C_т}{C_р - C_о} = \Psi_{20}^{n \cdot n_1 \cdot n_2}, \qquad (4.301)$$

где C_p — растворимость кислорода в воде;

$C_т$ — концентрация кислорода в очищенной сточной воде, которая должна быть обеспечена на выпуске в водоем;

C_o — концентрация кислорода в сточной воде перед сооружением для насыщения (при отсутствии данных принимается $C_o=0$);

ψ_{20} — коэффициент, зависящий от величины перепада уровней; его значения приведены в табл. 4.64;

n — число ступеней водосливов;

n_1 и n_2 — коэффициенты, учитывающие влияние температуры и качество воды, принимаются в пределах: $n_1=1...\ 1{,}4$; $n_2=0{,}7...\ 0{,}95$ (для бытовых сточных вод).

Таблица 4.64

Значение коэффициента ψ_{20}

z, м	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
ψ_{20}	0,71	0,65	0,59	0,55	0,52

Удельный расход воздуха, м³/м³, в барботажных сооружениях следует определять по формуле

$$D=\frac{n}{k_1k_2n_1n_2}\left[\left(\frac{C_p-C_o}{C_p-C_т}\right)^{\frac{1}{n}}-1\right], \quad (4.302)$$

где k_1 — коэффициент, характеризующий тип аэратора; для фильтросов принимается в зависимости от отношения площади аэрируемой зоны к площади аэротенка (f/F) по табл. 4.52, для перфорированных труб $k_1=0{,}75$. Площадь аэрируемой зоны включает в себя часть площади аэротенка, ограниченную габаритами аэраторов, причем просветы между пористыми поверхностями до 0,3 м следует включать в площадь аэрируемой зоны;

k_2 — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора h; принимается по табл. 4.53.

Максимальная интенсивность аэрации I допускается до 100 м³/(м²·ч).

Требуемую степень насыщения очищенных стоков кислородом следует принимать с учетом кислородного режима водоема, но не более 6 мг/л для летних условий и 8 мг/л для зимних.

§ 117. 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 (рис. 4.145), в соот-

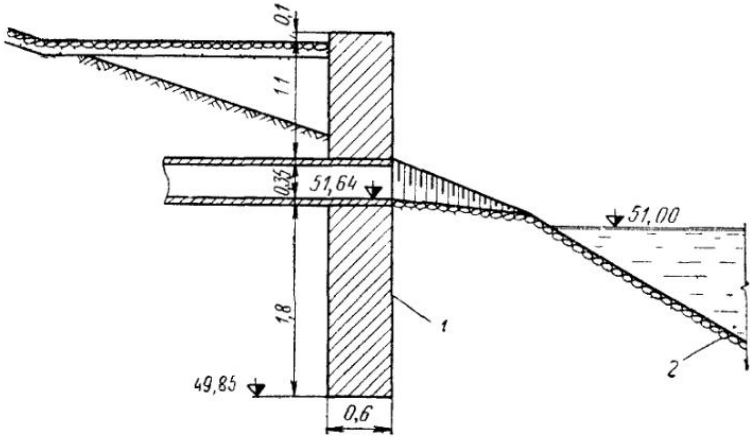


Рис. 4.145. Береговой незатопленный выпуск

1 — бетонная стенка;
2 — булыжное мощение по щебню

ветствии 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—10°).

На основании данных лабораторных исследований ВНИИ ВОДГЕО можно рекомендовать следующие выпуски с оголовками: цилиндрическим; открытым рассеивающим; русловым рассеивающим с эжекторными насадками.

Выпускной оголовок цилиндрического типа может быть использован для сброса сточных вод в речной поток, в котором обеспечивается приток достаточного количества речной воды для получения требуемой кратности начального разбавления.

Представляет интерес конструкция цилиндрического выпускного оголовка, состоящего из цилиндрической камеры с прорезями и подводящего трубопровода. Трубопровод соединен с цилиндрической камерой у ее торца под углом ~45° (в плане), благодаря чему в ней образуется винтообразное течение, обеспечивающее равномерный выпуск сточной жидкости по фронту сооружения.

Длина цилиндрической камеры определяется по формуле

$$L = \frac{Q}{kv_{ср}(H-D)}, \qquad (4.303)$$

где Q — расход воды в реке, разбавляющий сточную воду в начальном участке;

$v_{ср}$, H — средние скорость и глубина реки в зоне выпуска;

D — диаметр цилиндрической камеры;

k — коэффициент, равный: при $\frac{H}{D} \geqslant 3$ $k = \frac{H}{H-D}$ и при $\frac{H}{D} < 3$ $k = 1{,}5$.

Диаметр цилиндрической камеры принимается равным $D = 2 \ldots 3d$, где d — диаметр подводящего патрубка. Скорость течения в подводя-

щем патрубке, при которой наблюдается наиболее благоприятный режим выпуска стоков, составляет 2—3 м/с. Максимальная длина цилиндрической камеры из условия обеспечения равномерного выпуска по длине не должна превышать $10D$.

Для промывки цилиндрической камеры предусматривается устройство ее торца съемным, на болтах. В русле реки цилиндрический оголовок может быть установлен с помощью свайного крепления.

Открытый рассеивающий выпускной оголовок представляет собой горизонтально расположенную конусную трубу, в которой сделан вырез

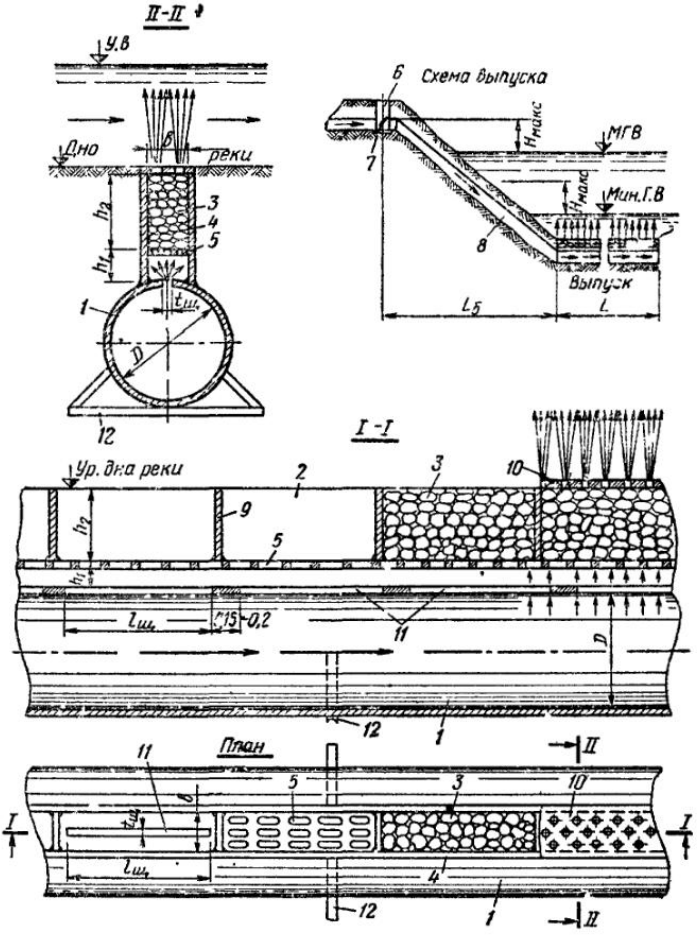


Рис. 4.146. Схема и конструкция рассеивающего выпуска

1 — труба; *2* — обойма выпусков; *3* — гравийная засыпка; *4* — стенка обоймы; *5* — решетчатое дно обоймы; *6* — береговой колодец выпуска; *7* — решетка; *8* — береговой трубопровод; *9* — поперечные стенки обоймы; *10*—крышка обоймы с отверстиями; *11* — щели в трубе; *12* — опорные поперечные трубы

на боковой поверхности ($^1/_3$ по длине окружности), снабженный поперечными направляющими. Сточная струя, попадая в камеру оголовка, рассекается направляющими, в результате чего осуществляется равномерный сброс стоков по фронту сооружения. Наиболее благоприятные условия наблюдаются при скорости течения речного потока большей, чем скорость истечения сточной жидкости из оголовка. Обтекающий речной поток в зоне истечения будет создавать области пониженного давления, при этом возникает эффект эжекции, способствующий интенсификации разбавления сточных вод.

Длина камеры оголовка может быть определена по среднему диаметру $D_{ср}$. Угол конусности камеры принимается равным 6—8°, ее большой диаметр $D_б = (1{,}5 \ldots 2)d$, малый диаметр $D_м = (0{,}5 \ldots 1)d$, где d — диаметр подводящего патрубка. Угол конусности переходной диффузорной части принимается из условия непрерывности потока также 6—8°.

Расчет разбавления при применении открытого рассеивающего оголовка ведется аналогично расчету для цилиндрического оголовка, если принять средний диаметр камеры за расчетный.

Благодаря открытой конструкции оголовка нет необходимости в специальных мероприятиях по его прочистке. В русле реки открытый рассеивающий выпускной оголовок может быть установлен с помощью свайного крепления.

На рис. 4.146 показана схема конструкции рассеивающего фильтрующего струйного выпуска, позволяющей приблизить створ смешения очищенной воды практически к створу самого выпуска. Выпуск представляет собой стальную перфорированную трубу постоянного сечения с приваренной к ней по всей длине металлической обоймой с щелевыми отверстиями. Обойма заполнена крупным гравием или щебнем. Ширина обоймы в зависимости от диаметра трубы принимается 150—400 мм, $h_1 = 150 \ldots 200$ мм, $h_2 = 400 \ldots 600$ мм. Площадь щелевых отверстий решетчатого дна обоймы должна составлять 40—50% его площади. Выход очищенной воды в водоем в виде многочисленных вертикальных струй со скоростью истечения 2—2,5 м/с обеспечивает быстрое и эффективное смешение с водой водоема.

Русловой рассеивающий оголовок с эжекторными насадками состоит из подводящего трубопровода, рассеивающей его части, выпускных патрубков с соплами и эжекторных камер. Трубопровод укладывается в траншею с каменной засыпкой, над поверхностью дна выводятся выпускные патрубки с соплами и устанавливаются эжекторные камеры. Крепление эжекторных камер может производиться непосредственно на подводящем трубопроводе или самостоятельно, например с помощью свай.

По данным ЛИСИ, максимальная кратность начального разбавления соответствует следующим соотношениям размеров эжекторной камеры:

$$D_{\text{конф}} = 1{,}3D_{\text{горл}}; \quad \frac{D_{\text{горл}}}{d_0} = 4 \ldots 5; \quad 1 \leqslant \frac{L_{\text{горл}}}{D_{\text{горл}}} \leqslant 6, \tag{4.304}$$

где $D_{\text{конф}}$ — диаметр сечения конфузора в месте подхода к нему струи;

$D_{\text{горл}}$, $L_{\text{горл}}$ — диаметр и длина цилиндрической горловины эжектора. Угол конусности конфузора принимается равным 30°, диффузора — 7°.

Применение руслового рассеивающего выпускного оголовка с эжекторными насадками может быть рекомендовано при малых расчетных скоростях течения в зоне выпуска (менее 0,1 м/с). Подобные условия характерны, например, для верховьев водохранилищ или для зарегулированных участков рек.

При проектировании канализационных выпусков в море следует учитывать на морских побережьях постоянные морские бризы, т. е. слабые ветры, которые дуют с моря по направлению к суше и гонят всплывающие примеси к берегу. Поэтому морские канализационные выпуски берегового типа совершенно неприемлемы, так как они не обеспечивают надлежащего смешения стоков с морской водой и не дают возможности использовать громадную самоочищающую способность моря.

Выпуски морского типа рекомендуется снабжать оголовком с рассеивающими устройствами, обеспечивающими быстрое и хорошее разбавление стоков морской водой. Для лучшего смешения стоков с водой моря выпуск в конечной точке стока должен быть заглублен не менее чем на 10 м.

Значительный интерес представляют выпуски с эжектирующими оголовками. Такие выпуски позволяют снизить в 1,5—3 раза концентрацию загрязнений уже в момент сброса сточных вод. Это достигается

путем повышения скорости истечения воды из оголовков, вследствие чего в поток вовлекается некоторое количество воды, окружающей оголовок.

Одним из основных условий бесперебойной работы выпуска в море является его высокая сопротивляемость воздействию морского прибоя, который обладает большой разрушительной силой. Выпуск укладывается нормально к штормовой равнодействующей; глубина его заложения от отметки дна моря должна обеспечивать устойчивость трубопровода при колебании уровня воды во время штормов. Чаще всего разрушение выпусков происходит в результате разрыва трубопроводов в зоне прибойных волн.

При прокладке трубопроводов на глубине более 10 м нет необходимости заглублять их в грунт, так как воздействие волн здесь незначительно.

Сравнение технико-экономических показателей вариантов морского выпуска из стальных труб, уложенных в подводной части, и из чугунных труб, уложенных на свайных опорах, показывает, что выпуск из стальных труб на 15% дешевле. Защитное покрытие внутренней поверхности стенок стальных труб применяют цементное, наружной — битумное, усиленное стекловолокном. Поверх битумного покрытия предусматривается слой бетонного покрытия толщиной не менее 100 мм. На головной части выпуска устанавливают железобетонные диффузоры конической формы. Оголовок закрепляется бетонным блоком.

Оголовок морского выпуска должен иметь размеры, обеспечивающие его устойчивость и надежное соединение с выпускным трубопроводом.

Глава XXII

ОБЩИЕ СХЕМЫ СТАНЦИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

§ 118. ВЫБОР ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СПОСОБОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Выбор площадки для строительства очистных сооружений производится в увязке с проектом планировки и застройки канализуемых объектов с учетом наивыгоднейших 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 табл. 4.65.

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

Таблица 4.65

Санитарно-защитные зоны для сооружений городской канализации

Сооружения	Разрывы, м, при расчетной пропускной способности сооружений, тыс. м³/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

Примечание. Санитарно-защитные зоны для канализационных очистных сооружений производительностью более 500 тыс. м³/сутки устанавливаются по согласованию с местными органами санитарно-эпидемиологической службы; для очистных станций производительностью свыше 880 тыс. м³/сутки устанавливаются по согласованию с органами Государственного санитарного надзора Министерства здравоохранения СССР и Госстроем СССР

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 учитывать не только расчетный период, но и дальнейшее перспективное развитие очистной станции.

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 производятся 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, мастерские, 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, электроремонтное отделения и аппаратная КИП.

В составе очистной станции предусмотрено помещение для стоянки одной специальной машины (ГАЗ-69), двух тракторов «Беларусь» 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 (ГАЗ-69); 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—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 типа ДКВР.

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:

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 10 000 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 10 000 м³/сутки — решетки с механической очисткой и удалением отбросов ленточным транспортером в контейнеры, песколовки с гидроциклонами для отмывки песка, горизонтальные или радиальные отстойники, сблокированные 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 10 000 м³/сутки — поля орошения; при отсутствии земельных участков — высокопроизводительные аэротенки с механической аэрацией, сблокированные со вторичными отстойниками, и с аэробной минерализацией избыточного активного ила;

г) более 10 000 м³/сутки — аэротенки с неравномерно рассредоточенным впуском сточной воды, аэротенки-смесители, аэротенки-вытеснители с механической или пневматической аэрацией и для станций до 50 000 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 50 тыс. м³/сутки. Обеззараживание с применением жидкого хлора осуществляется на очистных станциях независимо от их пропускной способности. На станциях очистки пропускной способностью до 50 000 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 фосфо-

ре. 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 Московской 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 составит около 9 млн. руб. 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.

В качестве примера на рис. 4.147 приведена технологическая схема работы станции аэрации с глубокой очисткой воды и обработкой осадка.

В схему включены высокопроизводительные аэротенки, сооружение аэробной стабилизации избыточного активного ила и фугата, установки по обезвоживанию осадка на центрифугах, установки для дегель-

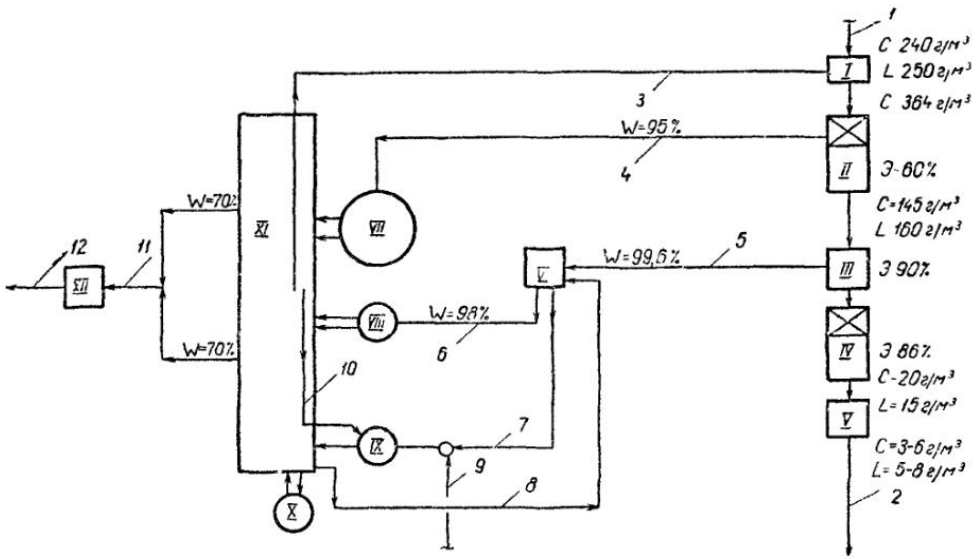


Рис. 4.147. Технологическая схема (баланс воды и осадка) работы станции очистки сточных вод

I — приемная камера; *II* — первичные отстойники; *III* — аэротенки; *IV* — вторичные отстойники; *V* — установка для доочистки сточных вод на микрофильтрах; *VI* — минерализатор; *VII* — резервуар сырого осадка, *VIII* — резервуар минерализованного активного ила; *IX* — резервуар бытовой канализации, иловой воды, фугата сырого осадка; *X* — резервуар фугата минерализованного активного ила, *XI* — производственный корпус с центрифугами; *XII* — установка для дегельминтизации обезвоженного осадка; *1* — сточная вода; *2* — очищенная вода, *3* — фугат сырого осадка, *4* — сырой осадок, *5* — избыточный ил, *6* — минерализованный ил; *7* — иловая вода, *8* — фугат активного ила; *9* — бытовая местная канализация; *10* — фугат сырого осадка, *11* — обезвоженный осадок и активный ил, *12* — обезвреженный осадок, *C* — концентрация сточной воды по взвешенным веществам; *L* — концентрация сточной воды по $БПК_{полн}$; *Э* — эффект очистки; *W* — влажность осадка

минтизации обезвоженного осадка с применением аммиака. 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/м³;

продолжительность пребывания в аэротенках 3 ч;

расход кислорода на 1 кг снятой $БПК_5$ 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 м³/ч;

нагрузка центрифуг, обрабатывающих минерализованную смесь ила с фугатом сырого осадка, 11 м³/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—25 тыс. м³/сутки применение биопрудов зачастую невозможно из-за отсутствия достаточных площадей (необходимая площадь для доочистки 1000 м³ 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. м³/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

Таблица 4.66

Расчетные показатели качества городских сточных вод после полной биологической очистки и доочистки на песчаных фильтрах в различное время года

Показатель	Весна	Лето	Осень	Зима
$БПК_{полн}$, г/м³	15 / 9	15 / 9	17 / 10	23 / 14
Содержание взвешенных веществ, г/м³	16 / 4	16 / 4	16 / 4	20 / 5
Содержание растворенного кислорода, г/м³	3,8 / 1,3	3,3 / 1,2	3,3 / 1,2	5,3 / 1,9

Примечание. Над чертой — после полной биологической очистки, под чертой — после доочистки на песчаных фильтрах.

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 отмыть 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/м³ (табл. 4.66). Однако данные о работе очистных станций ряда городов и промышленных предприятий показывают, что после очистки $БПК_5 = 12 ... 30$ г/м³, т. е. $БПК_{полн} = 18 ... 45$ г/м³.

На московских станциях полной биологической очистки сточных вод $БПК_5 = 9 .. 15$ г/м³ ($БПК_{полн} = 13,5 ... 23$ г/м³). Концентрация взвешенных веществ составляла 9,8—20,5 г/м³, растворенного кислорода 4,9—8,7 г/м³.

Опыт эксплуатации Курьяновской станции аэрации (КСА) показывает, что за весь период эксплуатации $БПК_5$ составляло 8—16 г/м³, концентрация взвешенных веществ — 12—20 г/м³ и растворенного кислорода — 4,3—5,2 г/м³. На этой станции построены сооружения для доочистки городских сточных вод пропускной способностью 600 тыс. м³/сутки на первую очередь с последующим развитием до 1 млн. м³/сутки с целью использования очищенной воды для производственного водоснабжения. В составе станции имеются сооружения для транспортирования воды на промышленные предприятия, расположенные в прилегающем районе. Максимальное использование очищенных

сточных вод для промышленного водоснабжения позволяет в значительной степени сократить потребление воды питьевого качества из городского водопровода и уменьшить сброс очищенных городских сточных вод в водоемы, что значительно снижает капитальные и эксплуатационные затраты на водохозяйственное строительство, а также улучшает санитарное состояние водоемов. Схема производственного водоснабжения с использованием очищенной воды КСА показана на рис. 4.148.

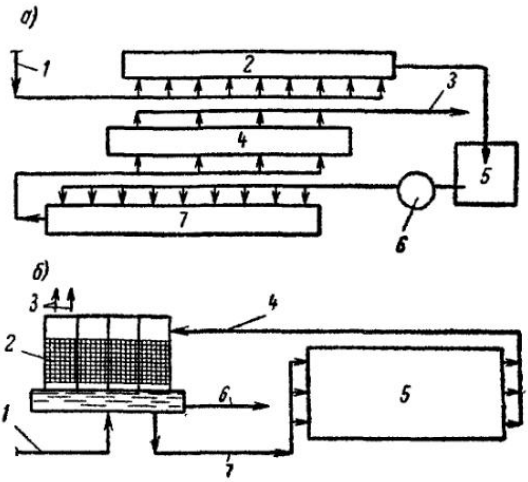


Рис. 4.148. Схема производственного водоснабжения автозавода с использованием доочищенных сточных вод КСА

а — прямоточная система с последовательным использованием воды. *1* — трубопровод подачи воды с КСА; *2* — аппараты ТВЧ; *3* — канализационный трубопровод, *4* — закалочные ванны; *5* — сборник воды; *6* — насосная станция; *7* — индукционные нагреватели; *б* — система оборотного водоснабжения: *1* — трубопровод добавочной воды с КСА; *2* — градирни; *3* — испарение и унос, *4* — вода в градирни, *5* — компрессоры, сварочные машины, холодильные установки; *6* — продувка; *7* — вода на охлаждение технологического оборудования

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.

В перспективе намечается приток дождевых вод на очистные сооружения общесплавной и полураздельной канализации. Концентрацию основных загрязнений дождевых и талых вод определяют по данным физико-химических анализов стока этих вод или соответствующими расчетами.

При определении концентрации загрязнений расчетом следует учитывать:

среднее многолетнее выпадение атмосферных осадков по сезонам года;

распределение по территории объекта разного рода поверхностных покровов;

интенсивность движения транспорта по улицам;

режим уборки уличного смета, снега и скола;

количество оседающих аэрозолей из воздушного бассейна.

В расчетах концентрации загрязнений дождевых и талых вод, поступающих с территории промышленных предприятий, следует дополнительно учитывать попадание в поверхностный сток отходов производства и оседающих продуктов промышленных выбросов.

При отсутствии необходимых данных о составе дождевых и талых вод для предварительных расчетов допускается принимать: в стоках с территории населенных пунктов среднюю концентрацию взвешенных веществ 200—400 мг/л, $БПК_{полн}$ = 40 ... 60 мг/л, концентрацию загрязне-

ний в стоках с территорий промышленных предприятий по данным аналогичных предприятий.

При проектировании общесплавной и полураздельной систем канализации для очистки сточных вод следует предусматривать такие же сооружения и методы очистки, как и для очистки бытовых сточных вод.

Приток дождевых вод на очистные сооружения общесплавной и полураздельной канализации определяется величиной коэффициента разбавления на ливнеспуске, устраиваемом до очистных сооружений или до главной насосной станции.

Отдельные сооружения общесплавной и полураздельной канализации необходимо рассчитывать с учетом ряда особенностей, связанных с периодическим поступлением дождевых вод.

Решетки и песколовки должны быть рассчитаны на суммарный приток бытовых и дождевых вод, при этом песколовки рассчитываются на задержание частиц крупностью 0,15—0,2 мм, объем осадка принимается 0,03—0,04 л/сутки на фактического или эквивалентного жителя, влажность осадка 60%.

Отстойники первичные и двухъярусные рассчитываются на приток в сухую погоду, при суммарном притоке допускается снижение эффективности отстаивания при продолжительности его не менее 0,75—1 ч; аэротенки — на суммарный приток и проверяются на эффект очистки в сухую погоду; высоконагружаемые биологические фильтры при коэффициенте разбавления свыше $n_0=0,5$ — на суммарный приток и проверяются на эффект очистки в сухую погоду; вторичные отстойники — на суммарный приток и проверяются на эффект очистки в сухую погоду.

Сооружения для обработки осадка (иловые камеры двухъярусных отстойников и осветлителей-перегнивателей, метантенки, иловые площадки, сооружения для механического обезвоживания и термической сушки) рассчитываются по количеству осадка, образующегося в сооружениях при поступлении дождевых вод: ориентировочно объем сооружений принимается на 10—20% больше по сравнению с рассчитанным на приток в сухую погоду.

Распределительные и сборные трубопроводы и лотки на очистной станции рассчитываются на суммарный приток, в связи с чем предусматривается увеличение их пропускной способности на 20—25%.

Дождевые резервуары надлежит предусматривать при притоке на очистную станцию дождевых вод с коэффициентом разбавления более 1,5. Целесообразность их устройства должна быть определена технико-экономическим расчетом.

Метод и степень очистки дождевых вод при полной раздельной системе канализации решаются в каждом случае в зависимости от состава загрязнений и условий спуска в водоем на основе технико-экономических и санитарно-гигиенических показателей.

В большинстве случаев предусматривается только механическая очистка: решетки, песколовки, отстойники, реже микрофильтры и гидроциклоны.

Естественная биологическая очистка на полях фильтрации или земледельческих полях орошения допускается в исключительных случаях.

Очистные сооружения дождевых вод при полной раздельной системе канализации рассчитываются на расчетный приток дождевых вод, поступающих на эти сооружения. До очистных сооружений устраивается ливнеспуск (с регулируемым водосливом) для сброса дождевых вод с периодом однократного превышения расчетных интенсивностей бо́льшим, чем принятый при расчете сети.

Для уменьшения расчетного притока дождевых вод на очистные сооружения допускается предусматривать регулирующие резервуары и пруды-накопители, а также использование свободной емкости подводящих к очистной станции транзитных коллекторов.

При расчете сооружений механической очистки дождевых вод при раздельной системе канализации следует принимать:

количество задерживаемых частиц крупностью 0,15—0,2 мм — 20—30% начального содержания;

продолжительность отстаивания — 0,75—1 ч;

эффект осветления — по кинетике выпадения взвешенных частиц, но не более 50%.

§ 119. 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, электрораспределительных 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—3 м
» » разноименных сооружений	5—10 »
» » предварительной механической очистки и биофильтрами (учитывая насыпь 1 : 1)	15—20 »
Между сооружениями и иловыми площадками с учетом обсадки их деревьями, устройствами для отвода поверхностных вод, подъездными путями, подводящими ил коммуникациями и т. п.	25—30 »
Между сооружениями (в зависимости от их объема)	20—50 »

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 предопределяют высотное расположение очистных сооружений.

Сточные воды должны проходить по очистным сооружениям самотеком (рис. 4.149), осадок же чаще всего приходится перекачивать из первичных отстойников, активный ил — из вторичных отстойников в аэротенки, а избыточный ил — на последующую обработку (рис. 4.150).

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

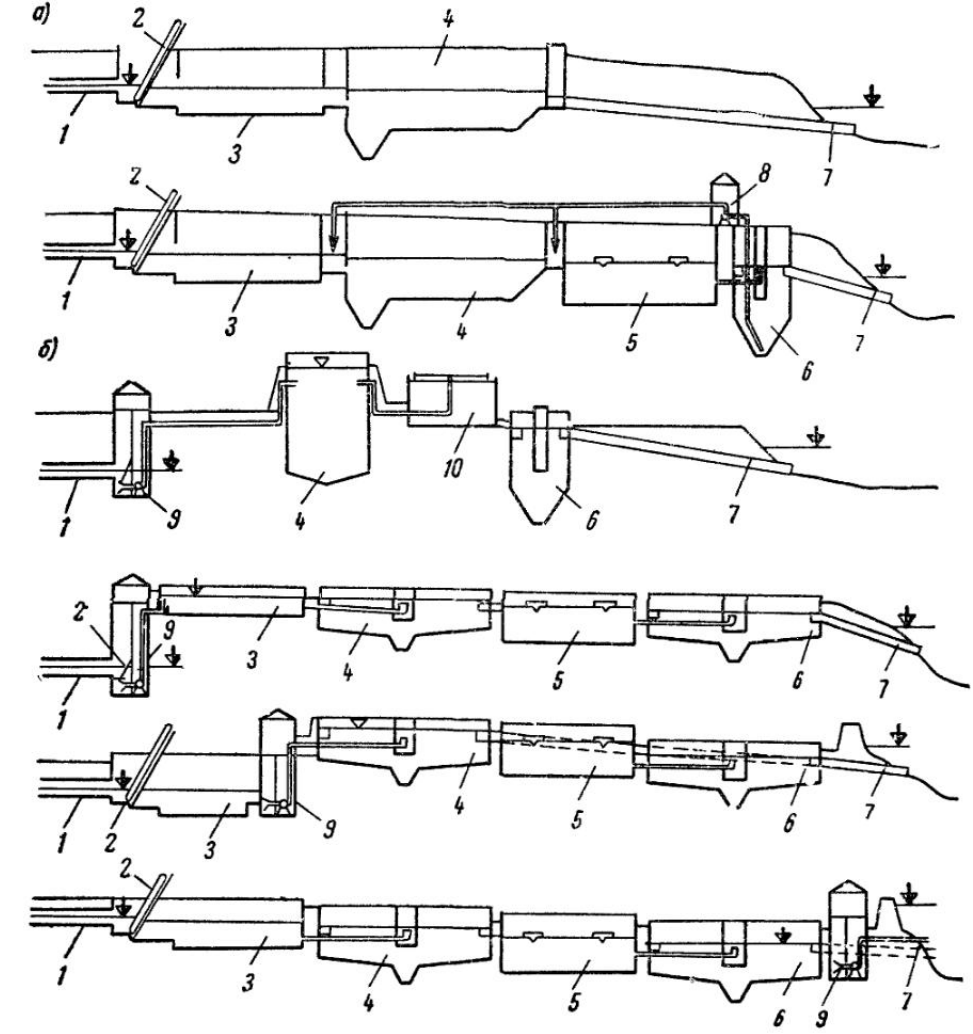


Рис. 4.149. Схемы движения сточной воды через очистные сооружения

а — с самотечным движением; *б* — с насосными станциями (различные варианты); *1* — коллектор; *2* — решетки; *3* — песколовки; *4* — первичные отстойники; *5* — аэротенки; *6* — вторичные отстойники; *7* — канал очищенной воды на доочистку и использование или выпуск в водоем; *8* — эрлифтная установка для перекачки активного ила; *9* — насосная станция; *10* — биофильтр

на величину, достаточную для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям с учетом запаса 1—1,5 м, который необходим для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водоем. Нормальная работа очистной станции в большой мере зависит от правильного определения гидравлических потерь.

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 излйве 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 мест-

ных сопротивлений в подводящих и отводящих лотках), потеря напора в сооружениях, см, принимается:

В решетках	5—20
В песколовках	10—20
В преаэраторах	15—25
В горизонтальных отстойниках	20—40
В вертикальных »	40—50
В радиальных »	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—30
В песчаных фильтрах	250—300

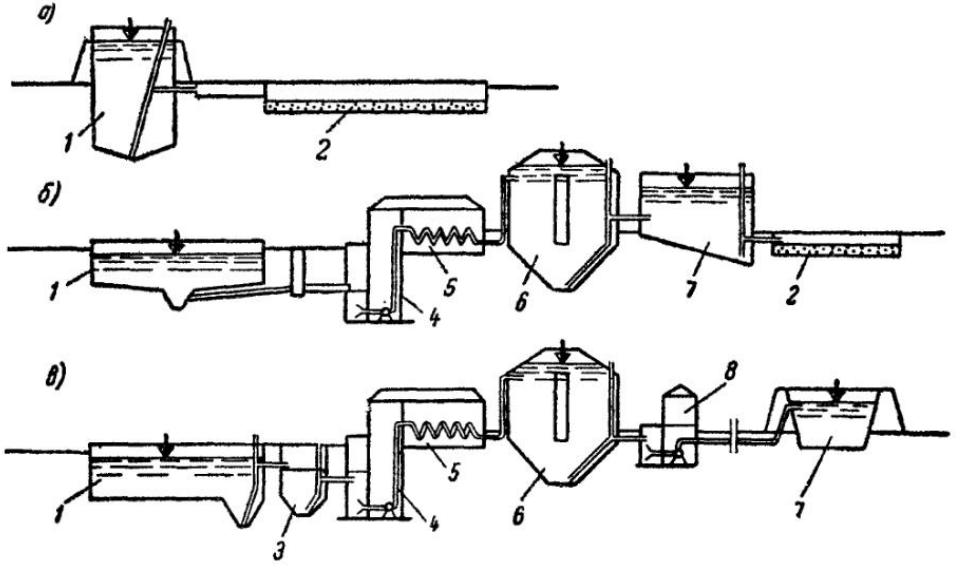


Рис. 4.150. Схемы движения осадка на очистных сооружениях

а — под гидростатическим напором; *б* — с перекачкой сырого осадка насосной станцией; *в* — с двойной перекачкой осадка; *1* — первичный отстойник; *2* — иловые площадки; *3* — илоуплотнитель; *4* — насосная станция сырого осадка; *5* — теплообменник; *6* — сооружения для обработки осадка; *7* — сооружение для обеззараживания обработанного осадка; *8* — насосная станция

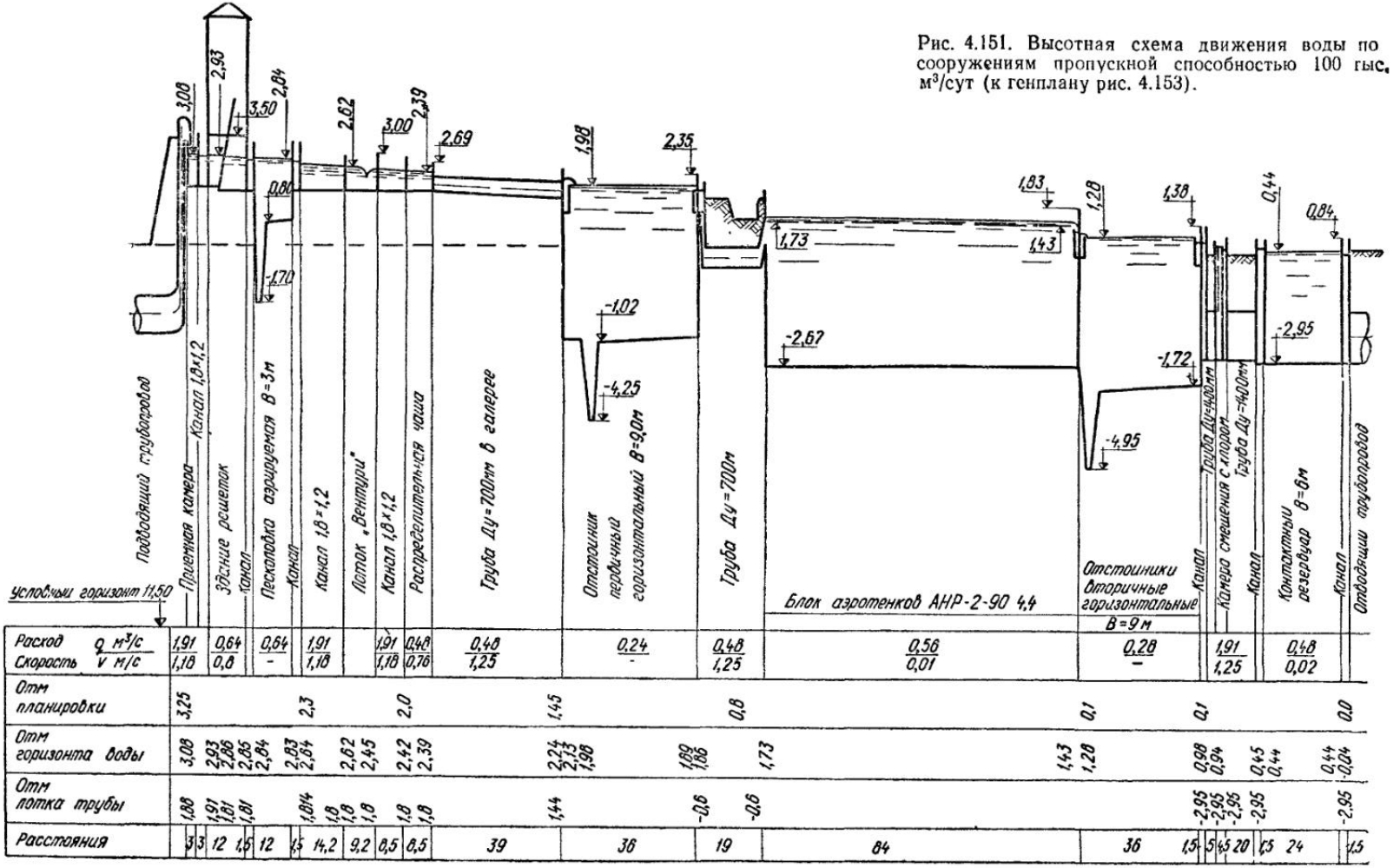
Общая величина потерь напора на очистной станции зависит также от компактности расположения сооружений, т. е. от величины разрывов между ними и, следовательно, длины подводящих лотков; ориентировочно можно принимать ее при механических способах очистки 6 м, при биохимических способах 8 (при аэротенках) 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». Примерная высотная схема движения воды по сооружениям приведена на рис. 4.151.

Горизонтальный масштаб для этих профилей принимают такой же,

Рис. 4.151. Высотная схема движения воды по сооружениям пропускной способностью 100 тыс. м³/сут (к генплану рис. 4.153).



| | | |

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» (см. рис. 4.150) 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.

На площадке очистных сооружений прокладывается ряд трубопроводов: для пара (p=0,5 МПа), конденсата, перегретой воды (150° С), метана (p=2 МПа) и природного газа (p=0,3 ... 0,6 МПа). Все трубопроводы собираются из стальных бесшовных труб на сварке, прокладываемых в траншеях и частично выше уровня земли. На участке подземной прокладки трубопроводы укладываются в непроходных каналах из унифицированных сборных железобетонных и бетонных элементов.

Надземная прокладка (воздушная) осуществляется на отдельно стоящих железобетонных опорах (столбиках) высотой 0,5—1 м в зависимости от профиля трассы. Тепловое удлинение трубопроводов воспринимается П-образными гнутыми компенсаторами и естественными поворотами трассы.

Теплоизоляция трубопроводов производится минеральной ватой с асбестоцементной штукатуркой по металлической сетке с последующим железнением поверхности цементным раствором.

Газопровод для метана прокладывается ниже уровня промерзания грунта. Газопроводы, укладываемые в грунте, покрываются усиленной антикоррозионной изоляцией. Все трубопроводы станции окрашивают в разные цвета: наружные трубы для метана красят в красный цвет, для хлора — в серый, для осадков — в коричневый, для питьевой воды — в голубой, воздухопроводы окрашивают в зеленый цвет.

Для очистных станций пропускной способностью до 10 000 м³/сутки газгольдеры не предусматриваются ввиду небольшого количества газа, выделяющегося в метантенках.

Для очистных станций пропускной способностью 32 000 м³/сутки и выше применяют мокрые газгольдеры на 3-часовой выход газа. Конструкцию газгольдеров принимают по типовым проектам, разработанным Проектстальконструкцией.

ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны типовые станции 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 (рис. 4.152) позволяет по сравнению с первым снизить расход бетона

и металла на 10—12%, обеспечивает бо́льшую 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 по-

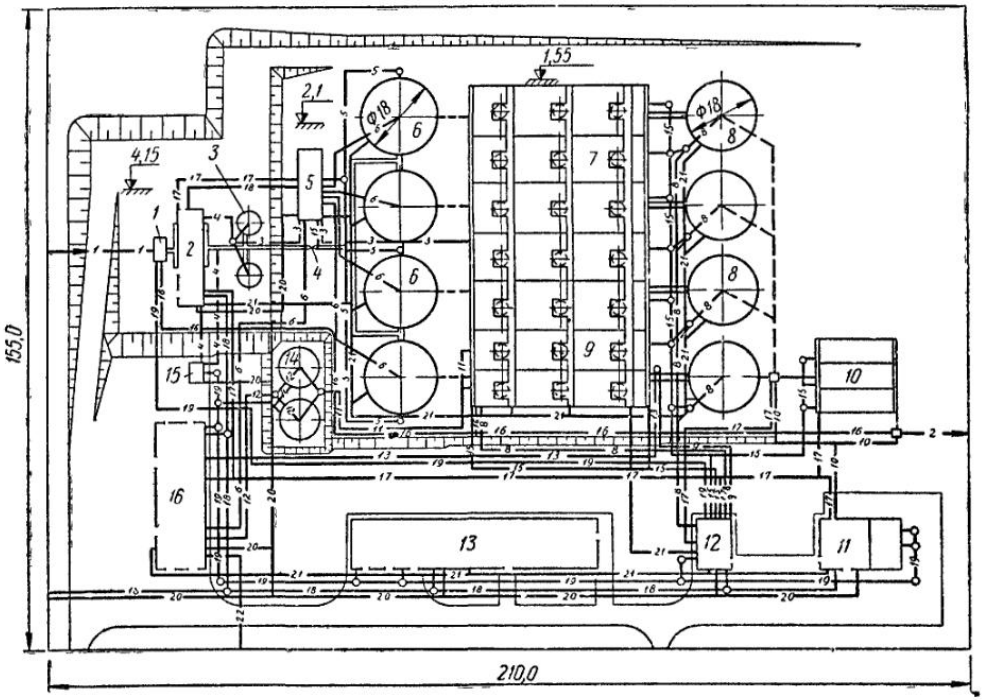


Рис. 4.152. Генплан станции пропускной способностью 25—50 тыс. м³/сутки

1 — приемная камера; *2* — здание на четыре механизированные решетки МГ-7Т; *3* — песколовки горизонтальные с круговым движением сточных вод, *4* — лоток Вентури; *5* — насосная станция песколовок и первичных отстойников; *6* — отстойники первичные радиальные (впуск периферийный); *7* — аэротенки с механическими аэраторами; *8* — отстойники вторичные радиальные (впуск периферийный); *9* — минерализаторы; *10* — контактные резервуары; *11* — хлораторная; *12* — насосная станция активного ила; *13* — блок административно-бытовые помещения — лаборатория — мастерские; *14* — илоуплотнители; *15* — бункера песка; *16* — корпус обезвоживания осадка с центрифугами

Трубопроводы: ----*1*---- сточных вод; ----*2*---- очищенных сточных вод; ----*3*---- рабочей воды гидроэлеватора; ----*4*---- пульпы; ----*5*---- плавающих веществ, ----*6*---- сырого осадка; ----*7*---- воздуха; ----*8*---- возвратного активного ила; ----*9*---- избыточного активного ила, ----*10*---- хлорной воды; ----*11*---- минерализованной смеси; ----*12*---- уплотненной минерализованной смеси, ----*13*---- фугата; ----*14*---- иловой воды, ----*15*---- опорожнения сооружений; ----*16*---- аварийного сброса; ----*17*---- технической воды; ----*18*---- хозяйственно-противопожарный водопровод, ----*19*---- бытовая канализация; ----*20*---- теплосеть; ----*21*---- электрокабель; ----*22*----газопровод

следующим компостированием. В составе комплекса очистных сооружений проектируются здания насосной станции активного ила и хлораторной.

Производственно-вспомогательные службы (лаборатория, мастерские, склад, помещение для стоянки машин и административно-бытовые помещения) предусматриваются в составе комплекса очистных сооружений.

Станции пропускной способностью 70—280 тыс. м³/сутки запроектированы ЦНИИЭП инженерного оборудования с применением радиальных и горизонтальных отстойников.

Генеральный план станции пропускной способностью 70—100 тыс. м³/сутки с горизонтальными отстойниками представлен на рис. 4.153.

Перед первичными отстойниками устанавливаются механизирован-

ные 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.

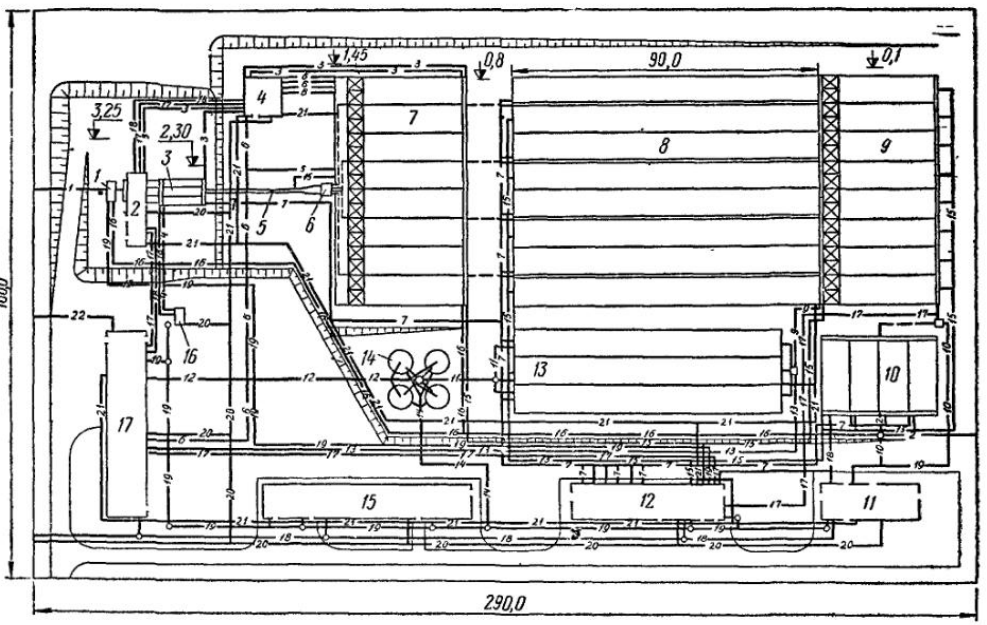


Рис. 4.153. Генплан станции пропускной способностью 70—100 тыс. м³/сутки

1 — приемная камера; *2* — здание на четыре механизированные решетки МГ-11Т (1000×1600 мм); *3* — аэрируемые песколовки, B=3 м; *4* — насосная станция песколовок и первичных отстойников; *5* — лоток Вентури; *6* — распределительная камера; *7* — первичные отстойники; *8* — аэротенки АНР-2-90-4,4; *9* — вторичные отстойники, B=0,9 м; *10* — контактные резервуары, B=9 м; *11* — хлораторная установка; *12* — насосно-воздуходувная станция с шестью турбовоздуходувками ТВ-175-1,6; *13* — минерализаторы, B=9 м; *14* — илоуплотнители, D=9 м; *15* — блок административно-бытовые помещения — лаборатория — мастерские; *16* — бункера песка; *17* — корпус обезвоживания и сушки осадка с четырьмя центрифугами ОГШ-631-К2 и одной сушильной установкой

Трубопроводы: ----*1*---- сточной воды; ----*2*---- очищенных сточных вод; ----*3*---- подачи воды на гидроэлеваторы для гидросмыва; ----*4*---- пульпы, ----*5*---- всплывающих веществ; ----*6*---- сырого осадка; ----*7*---- подачи воздуха; ----*8*---- активного ила возвратного, ----*9*---- активного ила избыточного; ----*10*---- хлорной воды; ----*11*---- минерализованной смеси; ----*12*---- уплотненной минерализованной смеси; ----*13*---- фугата; ----*14*---- иловой воды; ----*15*---- для опорожнения сооружений; ----*16*---- аварийного сброса; ----*17*---- технической воды; ----*18*---- хозяйственно-противопожарный водопровод; ----*19*---- бытовая канализация; ----*20*---- теплотрасса; ----*21*---- электрокабель; ----*22*---- газопровод

В составе комплекса очистных сооружений проектируются: производственные здания — насосно-воздуходувная, хлораторная, котельная; производственно-вспомогательные службы — лаборатория, мастерские, склад, гараж и административно-бытовые помещения.

Указанные типовые станции можно применять для полной биологической очистки сточных вод, имеющих первоначальную концентрацию загрязнений от 140 до 280 мг/л по $БПК_{20}$ 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 стои-

мости основных фондов промышленного производства достигает 10—20%.

Показателем экономичности проектных решений при технико-экономической оценке очистных станций является удельный расход сточной воды, приходящийся на единицу площади застройки станции. На современных отечественных станциях удельный расход составляет 10 м³/(м²·сутки) площади застройки.

§ 120. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Сточные воды могут поступать на очистные сооружения по самотечному коллектору или по напорному трубопроводу.

Для приема сточных вод из напорного трубопровода устраивают приемную камеру перед очистными сооружениями. Иногда она устанавливается на опору из сборных железобетонных колец (рис. 4.154). Камера перекрывается съемными щитами. Размеры приемной камеры зависят от пропускной способности очистных сооружений (табл. 4.67).

Таблица 4.67

Размеры приемных камер канализационных очистных сооружений (при напорном поступлении сточных вод) из сборного железобетона

Расход сточных вод, м³/ч	Размер, мм									Диаметр напорного трубопровода, мм, при подаче стоков	
	A	B	H	H_1	h	h_1	b	l	l_1	по одной нитке	по двум ниткам
100—160	1500	1000	1300	1000	400	400	250	600	800	150—250	150
250	1500	1000	1300	1000	400	500	350	600	800	250	150
400—630	1500	1000	1300	1000	400	650	500	600	800	400	250
1000—1250	2000	2300	2000	1600	750	750	600	1000	1200	600	250
1600—2000	2000	2300	2000	1600	750	900	800	1000	1200	700	400

Распределение и транспортирование сточных вод и осадков по отдельным сооружениям очистной станции производятся с помощью открытых железобетонных лотков и каналов прямоугольного сечения или трубопроводов (при подаче сточных вод на очистные сооружения дюкерами). Применение лотков предпочтительнее, так как легче осуществить надзор за ними и их очистку. Лотки на зимнее время перекрывают съемными щитами. Размер лотков определяют исходя из скорости течения 0,4—0,6 м/с (на малых установках 0,3 м/с) при $q_{мин}$ и не больше 1 м/с при $q_{расч}$ с $K_ч=1,5$.

Строительную высоту лотков принимают на 0,1—0,2 м больше расчетной глубины слоя воды в них.

Наивыгоднейшим сечением прямоугольного канала в соответствии с требованиями гидравлики является такое, при котором $b=2h$.

Скорости протока в трубопроводах при расчетном расходе должны быть больше, чем в открытых лотках или каналах, во избежание отложения в них осадка.

Распределение сточных вод указанными устройствами неравномерное. Неравномерность распределения достигает ±10% и больше, что приводит к несколько лучшей работе недогруженных и значительно ухудшает работу перегруженных сооружений. Так, перегрузка одного из четырех аэротенков на 20%, другого на 5% и недогрузка третьего и четвертого аэротенков на 15 и 10% приводит к снижению общего эффекта очистки на 5% (L_t вместо 15 мг/л повышается до 29,4 мг/л). Для того чтобы не допустить снижения эффекта очистки, требуется

обеспечить равномерное распределение сточных вод и осадка по отдельным сооружениям очистной станции.

Равномерное распределение воды и осадка по отдельным сооружениям может быть достигнуто при помощи распределительных устройств: распределительной камеры (рис. 4.155), распределительной чаши с односторонним и двусторонним подводом воды.

Диаметр подводящего дюкера следует определять исходя из скорости протока в нем 0,8—1,3 м/с при максимальном расходе. Радиус закругления колена R подводящего дюкера должен быть не менее $2{,}3d$.

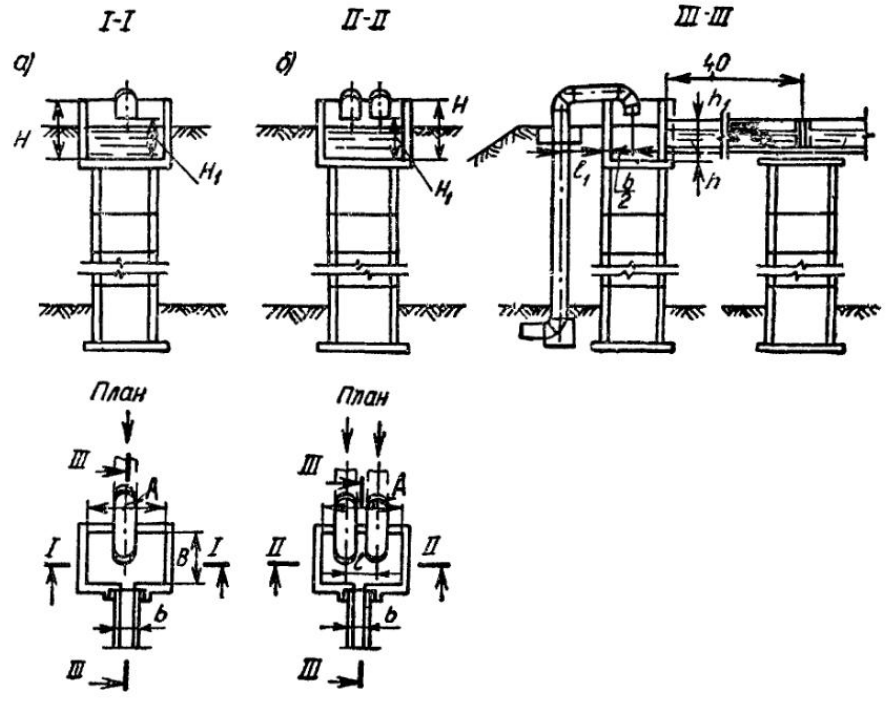


Рис. 4.154. Приемная камера очистных сооружений на опорах из сборных железобетонных колец

а — при подаче сточных вод по одному напорному водоводу; *б* — то же, по двум напорным водоводам

Сточная вода через водосливные отверстия поступает в приемные колодцы отводящих труб.

Чтобы уменьшить влияние изменения уровня воды в отстойниках на равномерность распределения расхода, перелив через водосливное отверстие должен осуществляться во всех случаях по схеме свободного водослива.

Ширина b, м, водосливных отверстий или свободный напор H, м, на выходе из подводящего дюкера определяется по формуле истечения через свободный водослив:

$$Q_{ср} = mb\sqrt{2g}H^{3/2}, \qquad (4.305)$$

где $Q_{ср}$ — средний расход, поступающий в каждый приемный колодец, м³/с;

m — коэффициент расхода, зависящий от конструктивного выполнения соединения подводящего дюкера и приемного колодца, $m = 0{,}65$;

g — ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

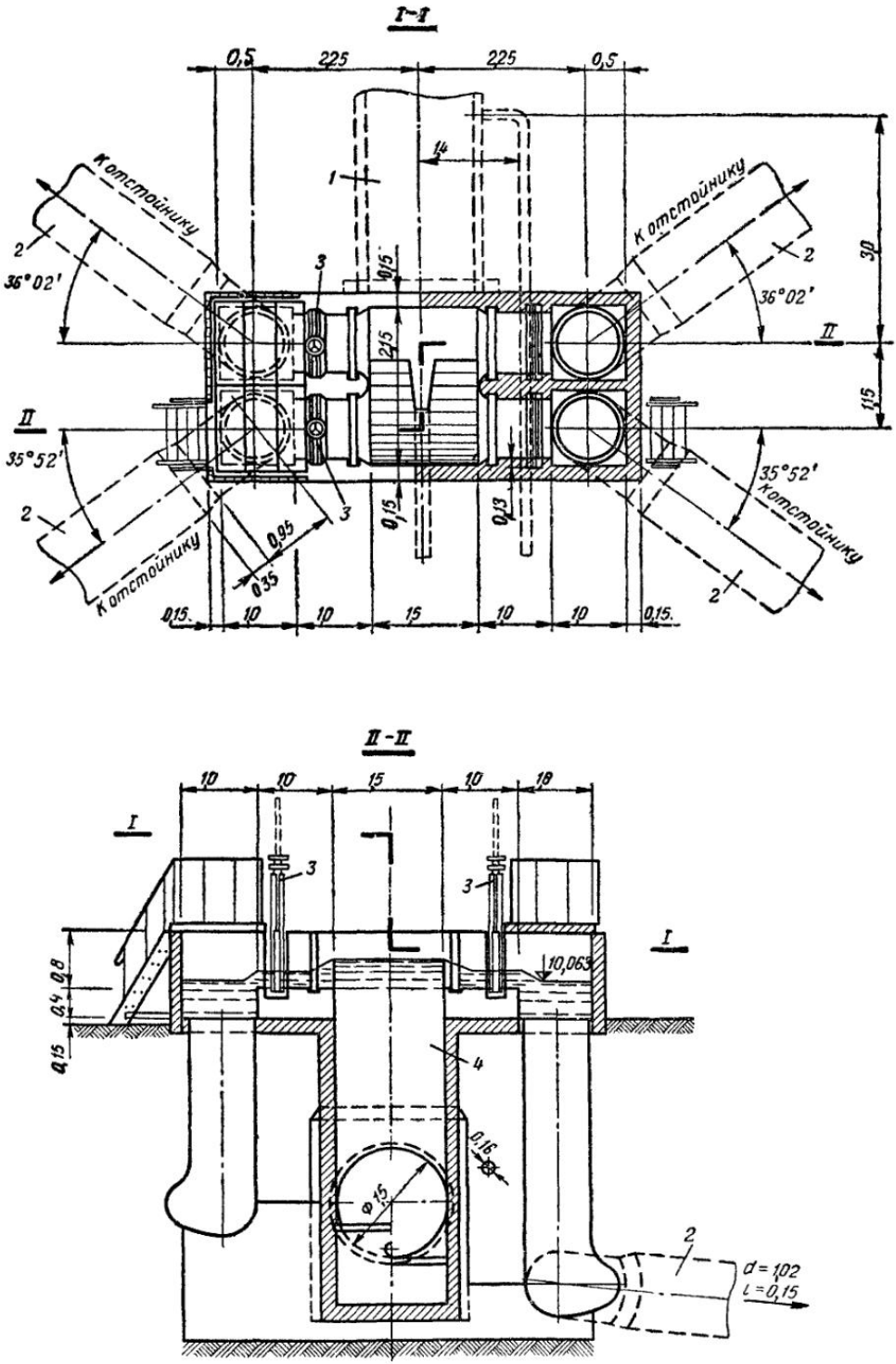


Рис. 4.155. Распределительная камера с подводом воды по трубе

1 — подводящий трубопровод, *2* — отводящие трубопроводы, *3* — затворы, *4* — распределительная чаша

Задавшись одной из величин (b или H), можно определить другую. Наилучшее распределение сточной воды достигается при применении распределительной чаши с двусторонним подводом воды и кольцевым водосливом, при свободном истечении жидкости через большие отверстия в тонкой цилиндрической стенке под небольшим напором.

Максимальное отклонение Q_i от $Q_{ср}$ составляет $\pm 2\%$ при нагрузке на чашу $(0{,}75 \ldots 1{,}25)\,Q$ при расчетной нагрузке — $\pm 1\%$.

При односторонней подаче воды в чашу наиболее хорошие результаты достигаются с подачей воды в чашу через центральную трубу с круговым входом в нее снизу и распределением на четыре одноименные сооружения, при свободном истечении через водосливы с широким порогом с соблюдением ряда конструктивных условий.

Следует принимать: диаметр центральной трубы равным диаметру подводящего трубопровода; высоту кольцевого отверстия под центральной трубой, равной $(0{,}25 \ldots 0{,}5)\,d$ (где d — диаметр подводящего трубопровода).

При выходе сточной воды из центральной трубы следует устраивать внезапное расширение с соотношением диаметров чаши и центральной трубы $\frac{D}{d}$ не менее 1,5. В верхней части чаши следует проектировать свободное истечение воды через водосливы с широким порогом, что позволяет получить минимальные потери напора в чаше.

Необходимо учитывать, что наличие конической воронки с углом конуса 7—16° при выходе воды из центральной трубы, а также рассекателя потока в подводящем трубопроводе ухудшает равномерность распределения сточной воды.

При соблюдении указанных конструктивных условий такой тип чаши с односторонним подводом воды обеспечивает отклонение от равномерного распределения сточной воды в пределах $\pm 2{,}9\%$ при нагрузке на чашу $(0{,}75 \ldots 1{,}25)\,Q$. Взвешенные вещества распределяются примерно пропорционально расходу сточной воды.

§ 121. 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 Паршаля.

Наиболее точным и надежным измерительным устройством для контроля расхода сточной воды в прямоугольных каналах шириной 450—2400 мм являются лотки Вентури (табл. 4.68).

Лоток Вентури (рис. 4.156) представляет собой устройство, вызывающее сжатие потока и перепад уровней воды, при котором расход жид-

Таблица 4.68

Размеры лотков Вентури для измерения расхода сточных вод в открытых прямоугольных каналах (рис. 4.156б)

Пределы измерений расхода сточных вод, м³/ч	B	b	H	E	F	K	L	i_1	i_2
25—500	450	296	600	1200	1260	2040	4 500	0,002	0,003
60—1250	600	377	900	2000	1960	2040	6 000	0,0015	0,003
200—4000	900	596	1200	3000	2800	2000	7 800	0,0015	0,003
250—5000	1200	752	1200	3000	3420	1980	8 400	0,001	0,002
400—8000	1800	1180	1200	3000	4180	2000	9 200	0,001	0,002
500—10 000	2400	1500	1200	3000	5390	2010	10 400	0,001	0,002

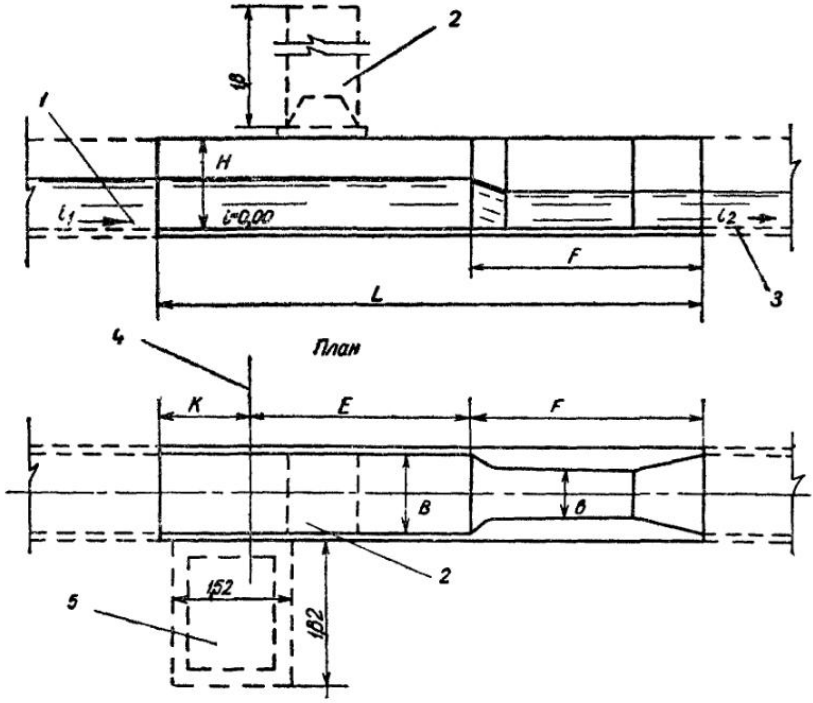


Рис. 4.156. Лоток Вентури для измерения расхода воды

1 — подводящий лоток; *2* — установка дифманометра в шкафу (вариант I); *3* — отводящий лоток, *4* — контрольное сечение лотка; *5* — установка дифманометра в колодце (вариант II)

кости 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, соприкасающиеся со сточными водами, должны быть футерованы коррозионностойким материалом (листовым винипластом, стеклопластиком и т. п.) или покрыты антикоррозионными материалами, например путем напыления.

Основное уравнение расхода, м³/ч, измеряемого при помощи лотков Вентури, имеет вид

$$Q = 0{,}1941 \cdot C_e\, C_v\, bH^{3/2}\,. \qquad (4.306)$$

где b — ширина горловины лотка, м;
H — напор в контрольном створе, м;
C_e — коэффициент расхода (0,927—0,988);
C_v — коэффициент, учитывающий влияние скорости в подводящем канале (1,002—1,147).

Для измерения расходов от 50 до 1000 л/с невзрывоопасных сточных вод, имеющих нейтральную среду, применяется и пропорциональный

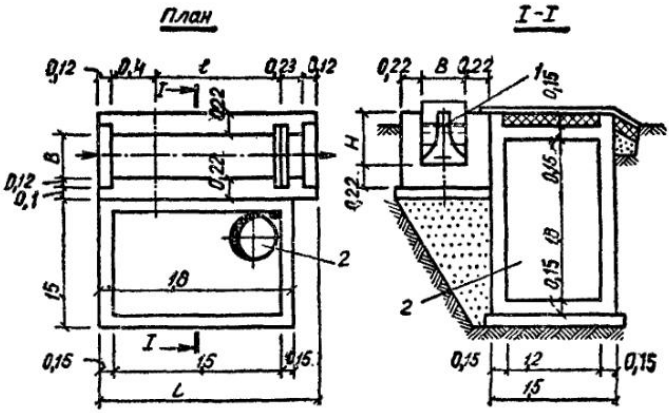


Рис. 4.157. Пропорциональный водослив с дифманометром, установленным «под уровень»

1 — пропорциональный водослив; *2* — колодец для дифманометра

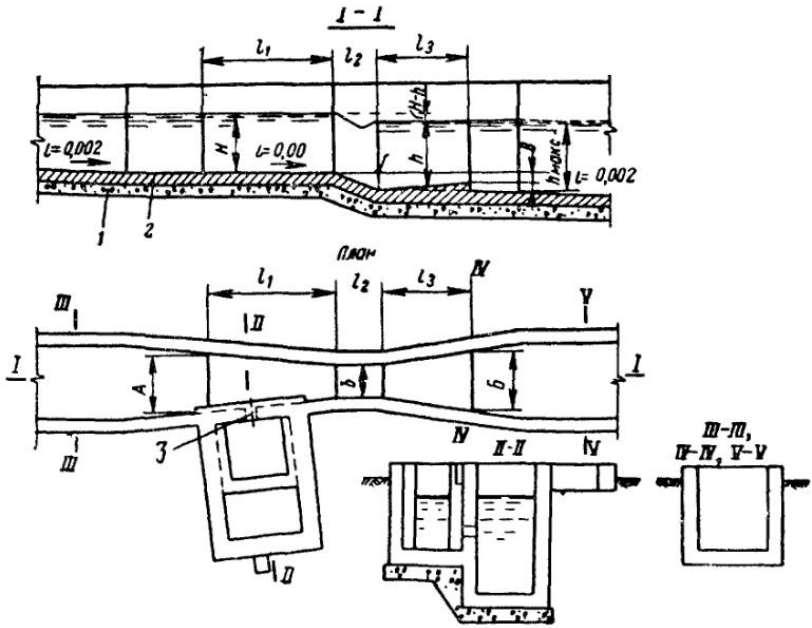


Рис. 4.158. Лоток Паршаля для измерения расхода воды

1 — подготовка из бетона марки 50—100; *2* — железобетонное днище; *3* — газовая труба, d=65 мм

водослив (рис. 4.157, табл. 4.69), который представляет собой сужающее устройство с прямоугольным и криволинейным вырезами, обеспечивающими линейную зависимость расхода от уровня жидкости в лотке. Замер уровней осуществляется в трех вариантах: I вариант — с помощью дифманометра, к которому подведен сжатый воздух (с барботажной трубкой); II вариант — дифманометром, установленным «под уровень», и III вариант — с помощью самописца уровня «Валдай».

Для измерения расхода воды в открытых каналах на канализационных станциях применяют также лотки Паршаля, работающие по прин-

Размеры, мм, пропорциональных водосливов для измерения расходов сточных вод

B	H	l	L	B	H	l	L
200	300	600	1800	450	600	1000	1800
200	450	600	1800	600	900	1200	2000
300	450	600	1800	900	900	1500	2300
300	600	600	1800	900	1200	1500	2300

ципу сжатия потока (рис. 4.158). 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 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: $l_1=0{,}5\,b+120$; ширину входа, см, $A=1{,}2\,b+48$; ширину выхода, см, $Б=b+30$; длину горловины $l_2=60$ см, а длину отводящего раструба по оси лотка $l_3=90$ 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, в сечении $II—II$. 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 изготовляются из монолитного железобетона.

Расход сточных вод Q, м³/с, при свободном истечении определяют по следующим эмпирическим формулам:

при $b=0{,}15$ м

$$Q=0{,}384H^{1{,}58}; \tag{4.307}$$

при $b=0{,}3\ldots1{,}5$ м

$$Q=2{,}365bH^{n}, \tag{4.307а}$$

где n — показатель степени, принимаемый:

При $b=0{,}3$ м	1,522
» $b=0{,}5$ »	1,54
» $b=0{,}75$ »	1,558
» $b=1$ »	1,572
» $b=1{,}25$ »	1,577
» $b=1{,}5$ »	1,585

Таблица 4.70

Размеры измерительных лотков (см. рис. 4.158)

Пропускная способность лотка, л/с		Размеры, см						
минимальная	максимальная	b	l_1	l_2	l_3	A	$Б$	B
5	110	25	132,5	60	90	78	55	22,5
5	500	30	135	60	90	84	60	22,5
10	750	50	145	60	90	108	80	22,5
10	1150	75	157,5	60	90	138	105	22,5
20	1500	100	170	60	90	168	130	22,5
20	2000	125	182,5	60	90	198	155	22,5
30	3000	150	195	60	90	228	180	22,5

Формулы (4.307) и (4.307а) для определения расхода могут применяться в тех случаях, когда глубина воды над порогом водослива в точке $Г$ меньше $0{,}5H$ для лотков с $b=15$ см и меньше $0{,}7H$ для лотков с $b \geqslant 30$ см.

Размеры измерительных лотков в зависимости от расхода указаны в табл. 4.70.

При измерении больших расходов воды лотком Паршаля (от 3000 до 11 000 л/с) зависимость между глубиной в сечении $II—II$ и расходом воды выражается формулой (при свободном истечении) при $b=4{,}5$ м:

$$Q = 10{,}95H^{1,6}. \qquad (4.308)$$

Лотки Паршаля могут применяться для измерения как малых, так и больших расходов воды, обеспечивая при этом высокую точность измерения.

Самопишущий прибор для определения уровня устанавливают в здании. Наиболее широкое применение нашел прибор Э-610. В задней стенке этого прибора просверливают отверстие и выводят наружу ось прибора (для этого наращивают ось). К выступающей части оси прикрепляют стержень, на другом конце которого укреплен цилиндрический поплавок, плавающий на поверхности воды успокоительного колодца, расположенного сбоку от водомерного лотка. При измерениях уровня воды в лотке поплавок совершает радиальные движения, которые фиксируются в уменьшенном масштабе пером стрелки регистрирующего прибора. При движении диска на нем записывается суточная диаграмма уровней жидкости в водомерном лотке. Прибор должен быть протарирован. Для удобства пользования прибором обычно составляют таблицу, которая дает возможность по каждому показанию диаграммы быстро определять расход воды.

Кроме основного прибора в помещении контрольно-измерительных приборов очистных сооружений ставят и дублирующий прибор Э-610, который включен в электрическую схему основного прибора. Положение стержня в катушке первого (основного) прибора зависит от положения поплавка в колодце. Стержень в катушке дублирующего прибора повторяет автоматически положение первого стержня.

Для правильной работы водомерных лотков указанного типа участок канала на расстоянии 15 м выше места установки водомерного лотка должен быть прямолинейным в плане, русло участка канала должно быть прямоугольным с одинаковым уклоном по длине, а ось лотка должна совпадать с продольной осью прямолинейного участка канала.

Соединение горловины с выходной частью подвергается размыву, вследствие чего бетонные конструкции разрушаются. Применение сборных металлических горловин предотвращает разрушение лотков, что необходимо учитывать при их конструировании.

Определение расхода воды может быть произведено, хотя и несколько менее точно, по тарированной рейке в обычном лотке. Для потоков с устойчивым руслом существует постоянная однозначная зависимость между расходом Q и глубиной потока H. Установив однажды эту зависимость и изобразив ее в виде кривой, в дальнейшем достаточно замерять только глубину потока; соответствующий ей расход воды находится по этой кривой. Тарирование рейки производят одновременным измерением расхода воды в канале (вертушкой, водосливом, барометром) и уровня воды по закрепленной в канале рейке.

Для тарирования рейки и замеров расхода выбирают прямой участок лотка или канала. На этом участке рядом с каналом устраивают карман (успокоительный колодец) размером 0,3×0,3 м в плане, в котором устанавливают рейку. Карман соединяется с лотком или каналом через отверстие в разделяющей их стенке; отверстие следует располагать ближе к дну канала с таким расчетом, чтобы в него не могли поступать всплывающие на поверхность воды нефть и жировые вещества. В кармане движения воды нет и поверхность ее будет находиться в покое, что позволит делать отсчеты с большей точностью. Перед тарированием рейки весь участок канала должен быть очищен от наносов. При тарировании рейки водослив должен быть установлен выше кармана по течению на расстоянии не менее 2—3 м.

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.

Повышенную точность измерения расходов сточных вод можно достигнуть применением сборных пластмассовых измерительных лотков и водосливов, разработанных Союзводоканалпроектом.

Глава XXIII

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 122. ПРИЕМ СООРУЖЕНИЙ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Построенные очистные сооружения должны быть приняты Государственной комиссией с обязательным участием представителя органов Государственного санитарного надзора. Эта комиссия выдает письменное разрешение на эксплуатацию. При приемке устанавливается соответствие выстроенных сооружений утвержденному проекту, проверяются их размеры, устанавливается наличие всех приборов и оборудования, включая запасные, проверяется качество выполненных работ. Проверяют водонепроницаемость сооружений (путем заполнения их чистой водой), работу всех аппаратов и приборов, расположение по высоте отдельных элементов сооружений и достаточность уклонов для движения воды по сооружениям.

Комиссии должны быть представлены акты освидетельствования (приемки) всех подземных трубопроводов, а также подземных частей сооружений, составляемые в процессе строительства и содержащие результаты испытаний.

Правила технической приемки изложены в «Строительных нормах и правилах» (СНиП), утвержденных Госстроем СССР.

Эксплуатация очистных сооружений производится в соответствии с «Правилами технической эксплуатации водопроводов и канализации», утвержденными соответствующими республиканскими министерствами коммунального (местного) хозяйства, и «Санитарными правилами

устройства и эксплуатации сооружений по очистке городских сточных вод», утвержденными органами Государственного санитарного надзора.

Контроль за эксплуатацией промышленных и городских очистных сооружений осуществляется органами Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР.

§ 123. ПУСКОВОЙ ПЕРИОД ВВОДА СООРУЖЕНИЙ В ДЕЙСТВИЕ

В течение пускового периода производят проверку работы отдельных частей сооружений и их регулировку, причем начальную регулировку осуществляют большей частью при работе сооружений на чистой воде, чтобы работы по устранению замеченных дефектов могли проходить в более благоприятных санитарных условиях.

Наладка работы очистных сооружений производится специальными организациями, имеющимися в министерствах коммунального хозяйства и в различных отраслях промышленности. Эти организации устанавливают рациональный режим работы каждого сооружения, обеспечивающий требуемое качество очистки воды при минимальной себестоимости ее обработки.

Очистные сооружения, в которых происходят биохимические процессы, должны пройти достаточно продолжительный пусковой период, для того чтобы в них развились в должном количестве микроорганизмы, необходимые для успешного протекания процессов, т. е. очистные сооружения должны «созреть». Этот период является весьма ответственным.

При двухъярусных отстойниках пусковой период сводится к регулированию работы осадочных желобов и иловой камеры (септической части).

Пусковой период биофильтров начинается с тщательной промывки тела фильтра для удаления из него песка и мелких обломков загрузочного материала. Все эти отбросы собираются во вторичном отстойнике и удаляются из него. После промывки на биофильтр в течение нескольких дней дается небольшая нагрузка для образования на поверхности загрузочного материала бактериальной пленки в достаточном для очистки сточных вод количестве. Скорость созревания пленки зависит от температуры воды в теле фильтра. При температуре 9—10° С процесс созревания биопленки замедляется, а при температуре 5—6° С прекращается. Поэтому пуск в действие биофильтров, находящихся в неотапливаемом помещении, следует производить по возможности в теплое время года при температуре поступающей на очистку сточной воды не менее 17—18° С.

Орошение начинают небольшими дозами — не более $^1/_{10}$—$^1/_4$ расчетной нагрузки — до появления в стоке нитратов в количестве до 50% азота аммонийных солей (около 15—20 мг/л). После этого нагрузку можно несколько повысить, доводя ее постепенно (приблизительно в течение 1 мес.) до расчетной величины.

Для ускорения «созревания» биофильтра или аэрофильтра можно произвести зарядку его осадком, полученным из вторичного (после работающего биофильтра) отстойника, если только в нем не производилось хлорирования. Количество осадка для зарядки биофильтра не должно превышать 10% объема загрузочного материала (считая по объему осадка через 1 ч отстаивания).

В пусковой период в аэротенках должно быть накоплено определенное количество активного ила, требуемого для нормальной эксплуатации.

Активный ил может быть образован и из собственно сточной воды. Для этого осветленную в первичных отстойниках сточную воду продувают в аэротенке и дают нагрузку не более половины расчетной. Затем

полученный во вторичном отстойнике ил перекачивают в аэротенк и, прекратив подачу в него сточной воды, продувают ил, непрерывно наблюдая за исчезновением аммонийного азота и появлением нитратов (если аэротенк должен работать с нитрификацией), а также накапливанием растворенного кислорода. Одновременно должно вестись наблюдение за появлением при отстаивании типичных хлопьев быстро осаждающегося активного ила. После этого впускают сточную воду в аэротенк на проток, постепенно повышая нагрузку на ил с доведением до расчетной величины.

Если аэротенк должен работать на частичную очистку, то активный ил получают описанным методом, но повышение нагрузки производят исходя не из количества нитратов, которых при частичной очистке в обработанной воде не бывает, а из величины $БПК_5$ воды, спускаемой из аэротенка.

Возможно также в пусковой период включить аэротенк сразу «на проток» с малой нагрузкой и постоянной перекачкой возвратного ила из вторичных отстойников. По мере накопления ила и получения хорошо очищенной по величине $БПК_5$ сточной воды нагрузку на аэротенк постоянно увеличивают, доводя ее до расчетной.

При наличии на станции даже одного работающего аэротенка пуск последующих сооружений значительно облегчается перекачиванием в них избыточного ила из этого аэротенка.

При продувке необходимо, чтобы температура сточной воды была не ниже 5° С и величина активной реакции в аэротенке не опускалась ниже 7. Пусковой период аэротенка, так же как и биофильтров, следует приурочивать к теплому времени года.

Необходимость в пусковом периоде для аэротенков отпадает, если имеется возможность получить активный ил с другой станции. В этом случае активный ил доставляется в цистернах. При транспортировании ила осуществляется его непрерывная аэрация.

По рекомендации ВНИИ ВОДГЕО возможно применение для ускоренного пуска аэротенков термически высушенного активного ила.

При приемке аэротенков особое внимание должно быть обращено на состояние фильтросных пластин. Они должны быть механически прочны для работы под нагрузкой до 50 кН/м^2 и иметь равномерную пористость, материал плит должен быть устойчив против содержащихся в сточных водах химических загрязнений.

Отклонения в размерах плит по длине и ширине допускаются не более 3 мм, а по толщине — не более 1,5 мм. Плиты должны иметь правильные плоскости и кромки, без изгибов, трещин, пузырей, выкрошенных углов и других внешних дефектов. При наложении линейки по диагонали зазор между плитой и линейкой не должен превышать 1—2 мм.

Верхняя часть двухслойной пластины толщиной 20 мм состоит из мелких зерен (крупностью, обеспечивающей паспортную воздухопроницаемость), а нижняя — из более крупных зерен. Потеря напора в плитах после нескольких лет работы принимается 0,7 м, и только в засоренных плитах сопротивление может увеличиться до 2 м.

Заводы-поставщики должны изготовлять и поставлять фильтросные пластины, отвечающие приведенным требованиям, и производить необходимые испытания пластин на заводе на пористость и сопротивление прохождению воздуха.

Пуск аэротенка для обработки производственных сточных вод целесообразно начать с подготовки активного ила на воде бытового состава (например, пропускать через аэротенк только ночной расход, который содержит меньше производственных сточных вод, а затем постепенно переходить на нормальный режим работы).

Наладочные работы по первичным и вторичным отстойникам сводятся к регулированию водораспределительных и водосборных устройств

(распределительных камер, водосливов, плавающих щитков), а также устройств для сбора и удаления осадка (скребков, илососов, эрлифтов).

Работу первичных и вторичных отстойников принято считать хорошей и отрегулированной, если количество выносимых из них взвешенных веществ соответствует проектному.

В пусковой период на полях орошения и фильтрации необходимо обеспечить развитие в почве микроорганизмов, вызывающих аэробный процесс очистки. Ввод в действие полей производится с постепенным увеличением нагрузки до проектной в соответствии с качеством дренажных вод, контролируемым анализом.

В период наладки очистных сооружений проводятся занятия с эксплуатационным персоналом по изучению технологии очистки и правил технической эксплуатации, по технике безопасности и ведению необходимой технической документации.

После окончания наладочных работ составляются указания по эксплуатации отдельных сооружений с описанием режима их работы, устройства и способов устранения возможных нарушений.

§ 124. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗА РАБОТОЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Контроль за работой всей станции состоит в определении: количества воды, поступающей на сооружения; количества получающегося песка, осадка, активного ила или газа; расхода воздуха, пара, горячей воды; расхода электроэнергии на производственные нужды; расхода реагентов (для дезинфекции); эффекта работы станции по данным химических и бактериологических анализов поступающей и очищенной сточной воды; дозы активного ила в аэротенках.

Очень важно, чтобы фактическое количество воды, поступающей на сооружение, соответствовало расчетному расходу. Замеры количества сточной воды должны производиться при помощи измерительных устройств, снабженных самопишущими приборами, а записи их должны расшифровываться ежедневно с подсчетом как величины суммарного притока за сутки, так и колебаний по часам суток. Если все сточные воды подаются на очистные сооружения насосной станцией, оборудованной водомерами, то замер общего притока на очистных сооружениях не производится. Показания водомера насосной станции должны сообщаться на очистную станцию регулярно.

Количество сырого осадка замеряют с помощью специальных дозирующих камер или приемных резервуаров иловых насосных станций, а количество активного ила — объемным способом (по объему дозирующих камер) или по производительности иловых насосов.

Применяются также индукционные расходомеры типов РЭФ-12 и ЭРИ-М, устанавливаемые в иловых насосных станциях. Точность измерения лежит в пределах 3—5%.

Расход газа, поступающего из метантенков, может замеряться дифманометрами с самопишущими приборами или газовыми счетчиками.

Расход воздуха, подаваемого в аэротенки или аэрофильтры, можно замерять при помощи различного типа воздухомеров. На ряде станций аэрации для этой цели применяют диафрагмы и соответствующие самопишущие дифманометры.

Необходимо производить определение свободного растворенного кислорода в воде.

Для замеров расхода пара или горячей воды при обогреве метантенков в зависимости от вида теплоносителя можно применять паромеры или водомеры. Температуру в метантенках следует замерять электротермометрами сопротивления.

Расход электроэнергии на очистных станциях определяют как по отдельным установкам (воздуходувки, иловые насосы, скребковые механизмы отстойников и т. д.), так и по станции в целом. Показания счетчиков работы электродвигателей (пуск, остановка) регулярно заносят в журнал.

Эффект работы станции и отдельных ее сооружений определяют, сравнивая состав сточных вод до поступления и после выхода воды с данного очистного сооружения.

Основными показателями для характеристики состава сточных вод являются: количество осадка по объему, мл/л; содержание взвешенных веществ по массе (высушенных при 105° С), мг/л; температура воды, °С; прозрачность, см; цветность, град (по разбавлению дистиллированной водой до исчезновения окраски); окраска; содержание хлоридов, мг/л; окисляемость, мг O_2/л; $БПК_5$ и $БПК_{20}$, мг O_2/л; азот аммонийных солей, нитритов и нитратов, мг/л; количество растворенного кислорода, мг/л; активная реакция pH.

В особых случаях могут представлять интерес данные о количестве сульфатов, фосфатов, калия, плотного остатка, потерях при прокаливании, а также об уровне радиоактивности. Для бактериологического контроля необходимо определение числа бактерий в 1 мл воды при 37 °С, числа яиц гельминтов в неочищенной и очищенной сточной воде. Для характеристики осадка служат его влажность и зольность (%), а также химический состав осадка (количество жиров, белков и углеводов, мг/л).

Полный анализ поступающей и очищенной сточной воды производится не реже одного раза в декаду по методике, утвержденной МКХ РСФСР.

Отбор проб для анализов поступающей на станцию и очищенной сточной воды производится через определенные интервалы времени в течение суток, устанавливаемые технологом очистных сооружений.

Пробы воды отдельных сооружений берутся с учетом времени прохождения ее через контролируемое сооружение. Так как состав сточной воды меняется по часам суток, то желательно один раз в месяц производить отбор часовых проб. Из них составляют среднесуточную пробу с учетом часовых колебаний притока. Пробы воды для анализов отбираются в установленных технологом местах с постоянной глубины потока.

Температуру сточной воды измеряют в момент отбора проб для анализа и не реже одного раза в сутки. Температуру воздуха записывают три раза в сутки — в 7, 12 и 19 ч. Регистрацию температуры воздуха рекомендуется производить с помощью термографов.

Результаты анализов обрабатывают и сводят в таблицу.

При одновременном отборе проб и замере количества поступающей воды можно подсчитать общее количество основных загрязнений ($БПК_5$, объем осадка или взвешенные вещества при 105° С и т. д.), поступивших на станцию, а также количество загрязнений, которые не задерживаются станцией.

В зависимости от мощности и сложности очистных сооружений при них должна быть организована диспетчерская служба, осуществляющая: телефонную или радиосвязь с дежурными постами; полное или частичное дистанционное управление сооружениями и агрегатами и контроль за их работой; полное или частичное программное управление сооружениями и агрегатами; полную или частичную автоматизацию технологических процессов на сооружениях или отдельных их частей и механизмов.

Эксплуатация дистанционных или автоматических устройств осуществляется по инструкциям органов коммунальных хозяйств.

Для обеспечения бесперебойной эксплуатации всех сооружений в случае аварии с источниками питания или выхода из строя отдель-

ных элементов автоматики дистанционное или автоматическое управление очистными сооружениями должно дублироваться ручным управлением.

Для сооружений большой пропускной способности устраиваются пульты управления по отдельным узлам сооружений и станционный центральный диспетчерский пункт, куда передаются контрольные показания приборов пультов управления узлов, включая и технологические показатели (температура, количество газа, качество очищаемой воды). Для сооружений небольшой производительности, расположенных на сравнительно небольшой территории, возможно устройство одного диспетчерского пункта с пультом управления всеми очистными сооружениями.

Регулирование распределения жидкости по сооружениям — решеткам, распределительным лоткам, группам отстойников и др. — можно производить централизованно. Импульс к открытию и закрытию дается поплавковым устройством измерительного лотка или с пульта управления.

Основная задача автоматизации решеток заключается в автоматическом управлении работой механизированных граблей, дробилки и шиберов на подводящем канале, что возможно только при увязке работы дробилки с работой решетки, т. е. при передаче задержанных отбросов механическим путем. Работа механизированных граблей регулируется автоматически в зависимости от перепада уровней воды в подводящем и отводящем каналах. Местное управление решетками с механизированными граблями и дробилками осуществляется при помощи устройства кнопочного управления электроприводов. На решетках-дробилках включение резервной механизированной решетки должно быть автоматизировано.

Выгрузка песка из песколовок производится гидроэлеватором или насосом автоматически по заданной программе.

При подаче импульса на удаление песка открываются электрифицированные задвижки на подаче воды к эжектору и на отводе песка из песколовки с одновременным пуском насоса песколовок. Длительность работы эжекторов устанавливается в процессе эксплуатации песколовок. На диспетчерский пункт передаются сигналы в случае неполадок с насосом и заклинивания задвижек.

Автоматизация процесса удаления осадка в первичных радиальных и горизонтальных отстойниках осуществляется следующим образом. Через определенные интервалы времени даются импульсы на включение в работу скребкового механизма. После работы скребковых механизмов в течение заданного времени дается импульс на открытие задвижки, подающей осадок из отстойника к всасывающим трубам работающего насоса иловой станции. Откачка осадка из отстойников последовательная. Работа илового насоса происходит непрерывно в течение откачки осадка из всех отстойников. После завершения цикла откачки из отстойника закрывается его задвижка и выключается из работы скребковый механизм.

Об аварийной остановке илоскреба, заклинивании задвижки и аварийной остановке работающего илового насоса подается сигнал на диспетчерский пункт. При выходе из строя работающего насоса автоматически включается резервный насос.

В высоконагружаемых биофильтрах при помощи автоматических устройств можно обеспечить строгое регулирование подачи сточной воды на отдельные секции. В секциях биофильтров необходимо контролировать расход и температуру поступающей воды, а также расход воздуха.

Для успешной работы аэротенков необходимо регулировать подачу воздуха в них в соответствии с содержанием растворенного кислорода

в сточной воде и со степенью очистки сточной воды. В аэротенках следует предусматривать установку контрольно-измерительных приборов для замера расхода воздуха, а также для определения содержания растворенного кислорода в начале, середине и конце аэротенка. Необходимо также производить измерение и запись количества возвратного активного ила и его концентрации (дозы) в аэротенке. Температуру сточных вод необходимо измерять в подводящем (у аэротенков) и отводящем (после аэротенков) лотках. Контролируется pH сточной воды.

Для аэротенков-отстойников в схемах автоматизации и установки КИП предусматривается измерение концентрации активного ила в отстойной части. Здесь должен проводиться замер верхнего предельно допустимого уровня ила с сигнализацией на диспетчерский пункт (ДП). Выпуск избыточного ила из отстойной части должен регулироваться автоматически в зависимости от уровня ила.

В работе вторичных отстойников большое значение имеет автоматизация выпуска активного ила в зависимости от заданного его уровня и влажности. Для автоматического контроля уровня осадка в отстойниках фотоэлектрический датчик снабжен герметичным корпусом со сменными и защитными стеклами. Электронный блок в виде двухкаскадного усилителя выполнен на полупроводниковых триодах; на фоторезистор подается постоянный ток напряжением 10—60 В. Защитные стекла герметичного корпуса датчика специально обработаны в целях максимального снижения эффекта, связанного с образованием биопленки и слоя механических примесей. Датчик снабжен герметизированным сальниковым вводом кабеля, защищенным от загрязнений резиновым чехлом. В установленном в отстойнике устройстве для автоматического поддержания уровня осадка сточных вод электронный блок, связанный с фотоэлектрическим датчиком, обеспечивает периодическую подачу управляющих импульсов к магнитному пускателю электродвигателя задвижки. Последняя установлена на трубопроводе, отводящем активный ил из отстойника.

В илоуплотнителях должен быть автоматизирован выпуск уплотненного ила по заданной программе и заданному уровню ила.

Система автоматизации должна обеспечить поддержание заданной температуры осадка внутри метантенка.

На вакуум-фильтрах подлежит автоматизации дозирование подаваемых реагентов.

Следует контролировать уровень осадка в корыте вакуум-фильтра, разрежение и уровень воды в ресивере, давление сжатого воздуха.

В хлораторных должно быть автоматизировано дозирование хлора по расходу обрабатываемой воды или по величине остаточного хлора в воде, должен осуществляться контроль расхода хлора, величины остаточного хлора и концентрации хлор-газа в воздухе производственных помещений.

В воздуходувных станциях должно предусматриваться местное управление воздуходувными агрегатами из машинного зала и дистанционное из диспетчерского пункта, при этом система автоматизации должна обеспечивать последовательность операции по пуску и остановке воздуходувного агрегата, предусмотренную технологической инструкцией.

На воздуходувных агрегатах подлежат контролю температура подшипников, давление воздуха, сдвиг ротора и вибрация подшипников (для нагревателей), давление воды в системе охлаждения. При принудительной системе маслосмазки подшипников следует контролировать температуру и давление масла.

Необходимым является автоматизация отбора проб сточных вод. На Люблинской станции аэрации Н. В. Гаврилов разработал прибор для

автоматического отбора проб, в котором непрерывно вращающийся мерный стаканчик через каждые 2 мин забирает пробы жидкости, вытекающей через трубку из канала, и сливает их в сосуды для отбора проб.

§ 125. 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 качествам 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 канализацию, 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, превышающего 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 значитель-

ным содержанием взвешенных веществ, нарушающих работу очистных сооружений.

В связи с большими нарушениями, вызываемыми залповым поступлением сточных вод, следует допускать присоединение к городской канализационной 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 канализационных сооружений, предусмотренные специальной инструкцией, и выполняться работы по текущему ремонту.

§ 126. 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.

§ 127. 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, влажность, их состав, плотность, зольность; 3) количество осадка из песколовок, 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 о 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.

Глава XXIV

КАНАЛИЗОВАНИЕ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И ОТДЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

§ 128. МАЛАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ

К малой канализации относятся сети и сооружения, предназначенные для отведения и очистки бытовых и близких к ним по своему составу производственных сточных вод в количестве до 1400 м³/сутки. Норма водоотведения бытовых вод в малых населенных пунктах при наличии благоустроенных домов не превышает 200 л/сутки на одного жителя.

Проектирование, строительство и эксплуатация малой канализации производятся с соблюдением общих основных положений, изложенных в предыдущих главах.

Очистные сооружения этой системы канализации размещают на территории объекта при канализовании отдельных зданий или вне его при канализовании населенных пунктов; в обоих случаях соблюдаются установленные санитарно-защитные зоны — разрывы.

Выбор способа очистки небольших количеств сточных вод, комплекса очистных сооружений, их типов и конструкций в значительной степени зависит от местных условий: возможности выделения площади земли под очистные сооружения, удаленности этой площади от жилья, топографии местности, грунтовых, гидрологических и климатических условий, характера и места расположения водоема, в который могут быть спущены очищенные воды.

Для канализации в малых населенных пунктах создаются групповые системы водоотведения, обслуживающие группы населенных мест, с крупными сооружениями для очистки и обеззараживания сточной воды или устраиваются локальные системы водоотведения малой производительности, обслуживающие отдельные населенные пункты, группы зданий, отдельные коммунальные сооружения, с малыми установками для очистки и обеззараживания воды.

Групповые системы водоотведения сооружают в районах с высокой

плотностью населения и близко расположенными населенными пунктами; локальные системы — в районах со сравнительно низкой плотностью населения при территориальной отдаленности населенных пунктов, а также для пионерских лагерей, домов отдыха, санаториев и кемпингов.

Установки для очистки и обеззараживания воды должны быть просты в изготовлении и эксплуатации и обслуживаться минимальным количеством персонала. Установки должны обеспечить высокую надежность технологических процессов очистки и обеззараживания воды при использовании доступных реагентов, доставка и хранение которых не связаны с трудностями.

§ 129. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ МАЛЫХ КОЛИЧЕСТВ СТОЧНЫХ ВОД

В малых и поселковых системах канализации в качестве очистных сооружений рекомендуется применять: а) решетки с ручной чисткой; б) песколовки (при производительности 200 м³/сутки и более); в) фильтрующие колодцы; г) септики или двухъярусные отстойники; д) подземные поля фильтрации, аэробные биологические пруды, биофильтры, циркуляционные окислительные каналы и аэротенки, работающие по принципу продленной аэрации; е) вторичные отстойники; ж) хлораторные и контактные резервуары; з) иловые площадки.

Также могут применяться аэрационные установки с аэробной стабилизацией избыточного активного ила при полной и неполной биологической очистке сточных вод.

Очистные сооружения следует располагать (по отношению к ближайшему жилому зданию или к группе зданий) с подветренной стороны преобладающего направления ветров теплого периода года на определенных расстояниях (указаны выше) и одновременно ниже по течению грунтовых вод от водозаборных сооружений, питающихся этими водами.

Очистные сооружения проектируются из условий возможности эксплуатации их либо жителями канализуемого объекта (местные очистные сооружения), либо обслуживаемые техническим персоналом (поселковые очистные сооружения).

Для очистки сточных вод в количестве до 1 м³/сутки простыми и надежными устройствами являются фильтрующие колодцы с водопроницаемыми стенками и дном. Устраиваются они в песчаных и супесчаных грунтах. Для лучшей очистки сточной воды в таком колодце рекомендуется устраивать искусственный фильтр из щебня или гравия высотой 1 м. Толщина слоя грунта между основанием фильтра и наивысшим уровнем грунтовых вод должна быть не менее 1 м. Нагрузка на 1 м² фильтрующей поверхности колодца принимается 80 л/сутки в песчаных грунтах и 40 л/сутки в супесчаных.

В качестве первичных отстойников могут применяться септики при количестве сточных вод до 25 м³/сутки и двухъярусные отстойники для расхода более 25 м³/сутки.

Перед двухъярусными отстойниками следует устанавливать решетку и песколовку. Конструктивно эти сооружения целесообразно объединять. Как правило, предусматриваются только одна решетка и одна песколовка с обводным каналом (лотком).

Продолжительность отстаивания сточной воды в желобах двухъярусных отстойников следует принимать равной 2 ч по максимальному притоку; скорость движения воды в них при этом не должна превышать 2 мм/с. Длина желоба должна быть не менее 6 м, ширина — не менее 0,5 м, а глубина — не более 1,5 м. Осадок из отстойников удаляется под гидростатическим напором не менее 1,6 м по иловой трубе диаметром 150 мм.

Таблица 4.71

Нагрузка на оросительную сеть площадок подземной фильтрации для районов со среднегодовым количеством осадков до 500 мм

Грунты	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка в л/сутки на 1 м оросительной сети при глубине нанвысшего уровня грунтовых вод от лотка оросительных труб, м		
		1	2	3
Пески	До 6	16	20	22
	От 6,1 до 11	20	24	28
	Более 11	22	26	30
Супеси	До 6	8	10	12
	От 6,1 до 11	10	12	14
	Более 11	11	13	16

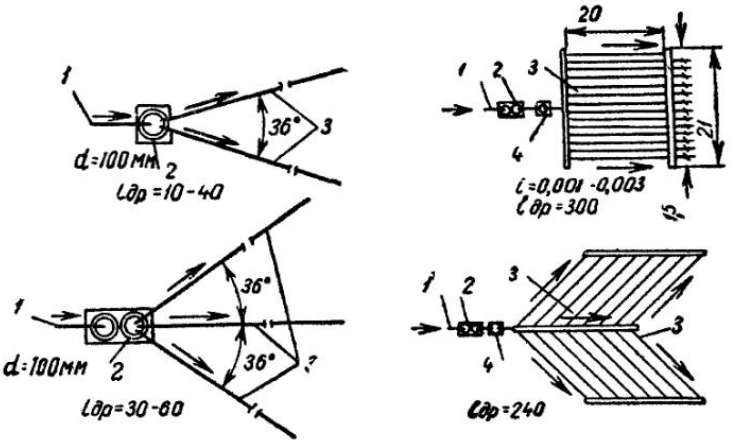


Рис. 4.159. Схемы полей подземной фильтрации

1 — выпуск из здания; *2* — септики; *3* — дрены, d=100 мм, укладываемые в песках с уклоном 0,001—0,003, а в супесях и суглинках — горизонтально; *4* — дозирующая камера

$l_{др}$ — общая длина дрен

При среднегодовой температуре воздуха 3,5° С двухъярусные отстойники должны размещаться в отапливаемых помещениях, при среднегодовой температуре воздуха от 3,5 до 6° С — в неотапливаемых помещениях.

Для очистки сточных вод в количестве до 15 м³/сутки наиболее рациональным типом сооружений биологической очистки являются поля подземной фильтрации (рис. 4.159 и 4.160). Устраивать их рекомендуется при наличии достаточного по площади участка земли, на соответствующем расстоянии от населенного пункта, вниз по течению грунтовых вод от водозаборных сооружений, питающихся указанными водами, на расстоянии от водозабора не менее 50 м, в супесчаных и песчаных грунтах. При расположении полей выше водозаборных сооружений питьевого водоснабжения это расстояние определяется из расчета самоочищения сточных вод и должно быть согласовано с органами Государственного санитарного надзора.

При устройстве полей подземной фильтрации расстояние между наивысшим уровнем грунтовых вод и оросительных труб должно быть не менее 1 м при заглублении их не более 1,8 м и не менее 0,5 м от поверхности земли.

Нагрузку на поля подземной фильтрации принимают в зависимости от климатических условий и вида грунта (табл. 4.71).

В состав системы канализации с полями подземной фильтрации входят следующие сооружения: септик, дозирующие и распределительные устройства и сеть оросительных труб.

Септик служит для отстаивания сточной жидкости. Место расположения септика следует выбирать с таким расчетом, чтобы было возмож-

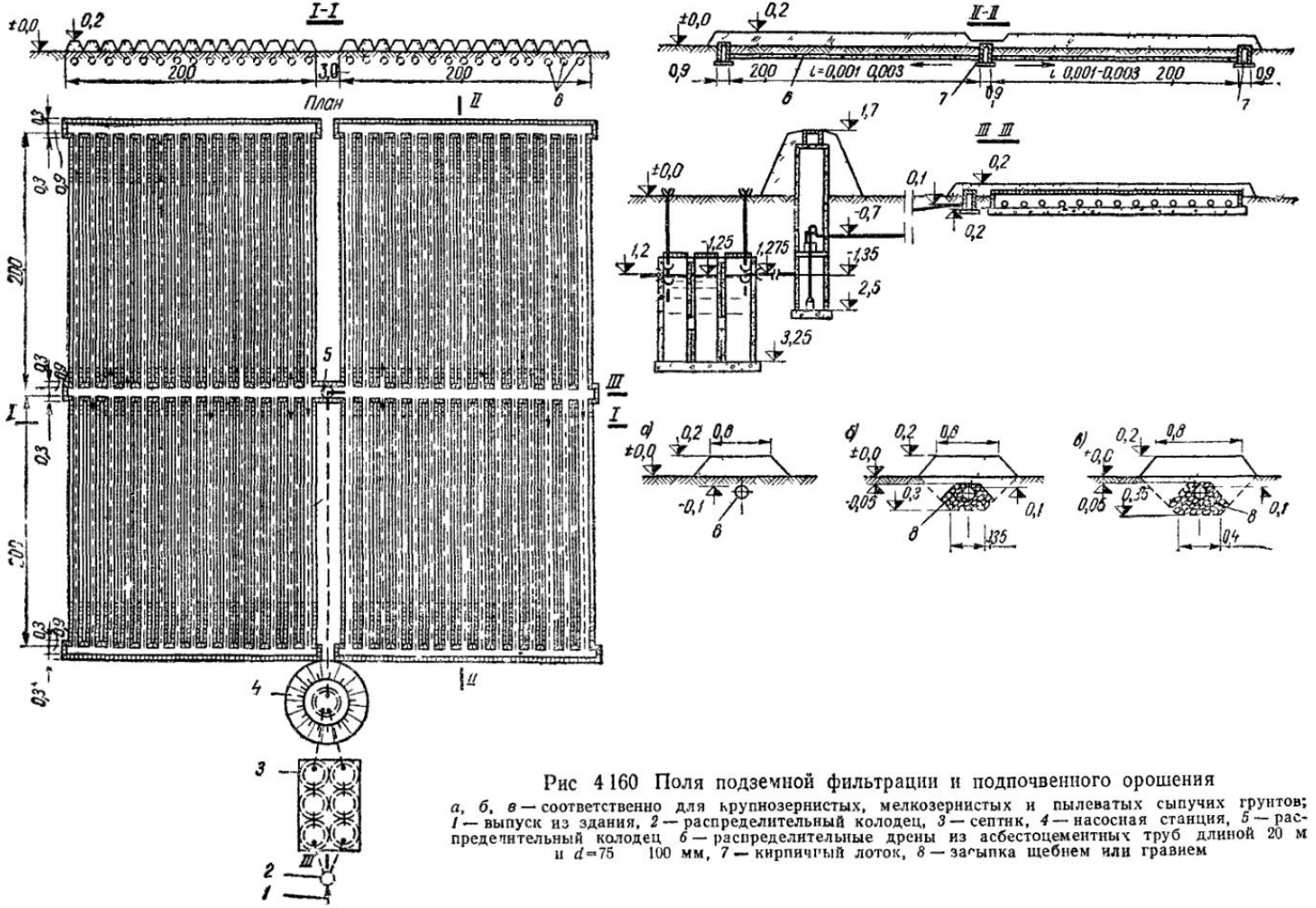


Рис 4 160 Поля подземной фильтрации и подпочвенного орошения

а, б, в — соответственно для крупнозернистых, мелкозернистых и пылеватых сыпучих грунтов; *1* — выпуск из здания, *2* — распределительный колодец, *3* — септик, *4* — насосная станция, *5* — распределительный колодец *6* — распределительные дрены из асбестоцементных труб длиной 20 м и d=75 100 мм, *7* — кирпичный лоток, *8* — засыпка щебнем или гравием

но присоединение к нему выпусков от санитарных узлов канализуемого объекта без устройства смотровых колодцев.

Дозирующие устройства и сеть дрен, уложенных на глубине 0,3—1,2 м, служат для распределения сточных вод в грунте, в котором происходит дальнейшая ее биологическая очистка.

Дозирующие устройства для подачи осветленной в септиках воды в распределительную сеть дрен должны быть автоматически действующими. В качестве дозирующих устройств применяют качающиеся желоба (ковши) или сифоны. Объем сточной воды, выбрасываемой за один прием дозирующим устройством, должен быть не менее 20% емкости дрен всего орошаемого участка при легких суглинистых грунтах, а при супесях и песках — не менее 50% емкости. Дозирующие устройства могут распюлагаться как в специальных камерах, так и в главном распределительном колодце на сети дрен.

Водоотводящие линии от дозирующего устройства до распределительного колодца следует укладывать из труб диаметром не менее 100 мм с уклоном не менее 0,005.

Дрены укладывают параллельно или радиально в песчаных грунтах с уклоном 0,001—0,003, в супесях и суглинках — горизонтально. Длина каждой дрены не должна быть более 20 м. Расстояние между ними принимается с таким расчетом, чтобы орошалась вся площадь между двумя соседними дренами. Обычно это расстояние принимают равным: в песках 1,5—2 м, в супесях 2,5 м.

В качестве дрен лучше всего применять гончарные дренажные и асбестоцементные трубы диаметром 75—100 мм. Можно применять также канализационные керамические трубы; допускается применение дрен в виде лотков, выполненных из бетона или из кирпича. Для того чтобы сточная вода проникала из дрен в грунт, между стыками оросительных труб должны быть зазоры 15—20 мм; стыковые соединения между трубами не заделывают, а перекрывают сверху накладками из толя, рубероида или других неразмокающих листовых материалов. В нижней части асбестоцементных труб делаются пропилы шириной 15 мм на глубину около половины диаметра трубы. Расстояние между пропилами рекомендуется принимать равным 0,2 м.

Оросительные трубы на полях подземной фильтрации и подпочвенного орошения рекомендуется укладывать на слой подсыпки толщиной 20—50 см из гравия, мелкого, хорошо спекшегося котельного шлака, щебня или крупнозернистого песка.

Для обеспечения равномерного распределения жидкости по всем дренам и возможности очистки их от отложившегося ила на полях подземной фильтрации в начале и в конце дрен устраивают водораспределительные бетонные или кирпичные лотки, перекрываемые железобетонными плитами. В случае необходимости выключить из работы отдельные дрены входные отверстия в них закрывают деревянными пробками.

В целях удобства эксплуатации полей должна быть предусмотрена возможность попеременной подачи воды в отдельные дрены. Для этого на устьях дрен, выходящих из распределительного колодца, устанавливают шиберы или другие затворы простейшего типа.

Вытяжная вентиляция из систем подземной фильтрации (системы труб и септика) осуществляется через канализационные стояки в зданиях. Для притока воздуха предусматривается на концах оросительных труб установка вентиляционных стояков диаметром 100 мм, возвышающихся на 0,5 м над уровнем земли.

Необходимая общая длина L, м, оросительных труб

$$L = \frac{Q}{qKt}, \qquad (4.309$$

где Q — суточный приток сточных вод, м^3;

q — нагрузка на 1 м оросительных труб, м³/сутки (см. табл. 4.71);
K — поправочный коэффициент, зависящий от среднегодового объема атмосферных осадков (H); при $H=500$ мм $K=1$; при $H>$ >600 мм $K=0{,}7$ и 0,8;
t — коэффициент, зависящий от режима эксплуатации полей подземной фильтрации; при круглогодичном действии $t=1$, а при сезонном $t=1{,}2$.

Поля подземной фильтрации целесообразно применять в районах со среднегодовой температурой воздуха более 10 °С, где по климатическим условиям распределительные дрены могут быть уложены на глубине до 1 м от поверхности земли; при более низкой температуре подпочвенное орошение может производиться только в летний период.

Для ускорения процесса биологического созревания полей подземной фильтрации рекомендуется использовать естественный поверхностный гумусный слой почвы путем засыпки им нижней части траншеи после укладки дрен.

Эффект очистки бытовых сточных вод на полях подземной фильтрации так же высок, как и на полях с поверхностной фильтрацией.

Для очистки бытовых и близких им по составу производственных сточных вод применяют циркуляционные аэрационные каналы.

В отличие от других сооружений биологической очистки, аэрационные каналы очищают неразбавленные высококонцентрированные сточные воды (с $БПК_5$, равной 1000—5000 мг/л и более). Сточные воды могут подаваться в аэроканал без предварительного отстаивания (после решеток и песколовок).

Аэроканалы являются сооружениями полной биологической очистки сточных вод активным илом при продленной аэрации. При нагрузках по $БПК_5$ на активный ил до 200 г/(кг·сутки) происходит частичная минерализация активного ила в аэроканале, и таким образом уменьшается количество избыточного активного ила. При низкой нагрузке по $БПК_5$ 50 г/(кг·сутки) происходит практически полная минерализация активного ила; количество избыточного активного ила уменьшается в 2,8 раза и составляет только 30 г сухого вещества из расчета на одного жителя в сутки (при очистке бытовых стоков) вместо 85 г, получаемых из аэротенков.

По схеме работы аэроканалы делятся на проточные и периодического действия. При использовании проточных аэроканалов строят отдельные или включенные в конструкцию аэроканала вторичные отстойники. В аэроканалах периодического действия отделение активного ила и выпуск очищенных сточных вод производятся непосредственно из аэроканала при выключенном аэраторе.

Наиболее распространенная форма аэроканала — вытянутый в плане кольцевой канал с трапецеидальным сечением. В центре аэроканала имеется разделяющая перегородка, реже — вторичный отстойник. Дно и откосы канала укреплены бетоном. Рабочая глубина аэроканалов — от 0,7 до 4 м. Как правило, в аэроканалах устанавливают в начале прямого участка механические поверхностные аэраторы.

Окислительные каналы круглогодичного действия находят применение в южных районах СССР, сезонного действия — в средних районах с расчетной зимней температурой не ниже минус 25° С.

В последнее время наибольшее распространение получили аэроканалы с вторичными отстойниками (рис. 4.161). Такие установки рассчитаны на очистку сточных вод в количестве до 1400 м³/сутки при начальной $БПК_5$ неотстоенной сточной воды до 400 мг/л и снижении $БПК_5$ и количества взвешенных веществ до 25 мг/л. Объем аэроканала определяется из условия 0,3 м³ на одного жителя; продолжительность пребывания воды в канале принимается 1—2 суток; расчетная глубина канала 1 м; скорость течения воды по каналу должна быть не менее 0,3 м/с; концен-

Таблица 4.72

Параметры циркуляционных окислительных каналов (ЦОК)

Пропускная способность, м³/сутки	Концентрация поступающей сточной воды, мг/л	Общая длина ЦОКа, м	Сечение ЦОКа, м²	Размеры аэратора: длина, м	Размеры аэратора: диаметр, мм	Частота вращения диска аэратора, мин⁻¹	Количество аэраторов, шт.
100	150	34	2,5	2,5	900	60	1
	250	56	2,5				
	400	88	2,5				
200	150	68	2,5	2,5	900	60	1
	250	110	2,5				
	400	178	2,5				
400	150	71	4,25	2,5	900	80	1
	250	130	4,25				1
	400	210	4,25				2
700	150	138	4,25	2,5	900	80	1
	250	230	4,25				2
	400	366	4,25				4
1400	150	275	4,25	2,5	900	80	2
	250	450	4,25				4
	400	735	4,25				4

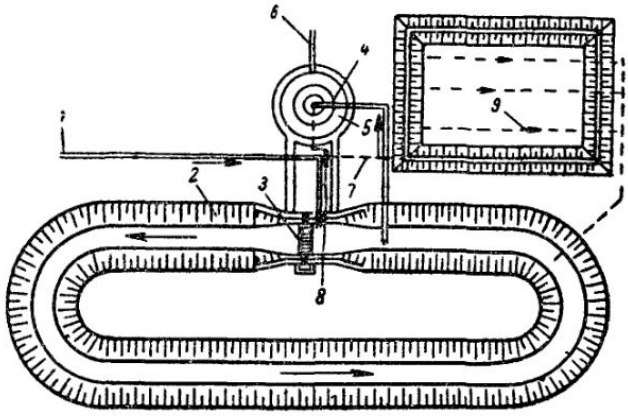


Рис. 4.161. Циркуляционный окислительный канал пропускной способностью до 1400 м³/сутки (БПК$_5$ поступающих сточных вод до 400 мг/л)

1 — поступление сточных вод; *2* — боковая стенка канала (откос); *3* — механический аэратор; *4* — подача сточных вод во вторичный отстойник; *5* — вторичный отстойник; *6* — выпуск очищенной воды; *7* — отвод осадка на иловые площадки; *8* — возврат активного ила; *9* — иловая площадка

трация активного ила 3,5 г/л; расход кислорода на 1 г снятой БПК$_5$ 1,5 г. Вторичный отстойник принимают вертикального типа с продолжительностью отстаивания 1,5 ч. Параметры циркуляционных окислительных каналов приведены в табл. 4.72.

Из сооружений естественной биологической очистки большое применение находят биологические оксидационные контактно-стабилизационные пруды (БОКС), разработанные во ВНИИ по сельскохозяйственному использованию сточных вод.

БОКС пруды состоят из нескольких секций искусственно созданных водоемов, в каждую из которых поочередно напускается суточный расход сточных вод. При первоначальном заполнении в каждую секцию вводится специально подобранный комплекс микроводорослей. В БОКС прудах сточные воды выдерживаются в течение 5—11 суток до полного обезвреживания, после чего их можно использовать для орошения. Во

вневегетационный период сточные воды накапливаются и очищаются в зимнем депоненте — биоокислителе, в который весной, так же как и в БОКС пруды, вводятся микроводоросли. Очистка и обезвреживание сточных вод в нем происходит также эффективно.

В Талси Латвийской ССР построены биологические пруды для очистки бытовых сточных вод пропускной способностью 400 м³/сутки. Опыт эксплуатации показывает, что очищенные стоки полностью обеззараживаются и не требуется их хлорирования. Очищенные сточные воды используются для полива сельскохозяйственных угодий. Себестоимость очистки по сравнению с искусственной биологической очисткой уменьшилась в 3,5 раза. Снижение числа бактерий кишечной группы равняется 99—99,9%. В настоящее время очищенная в БОКС прудах сточная вода используется для орошения хлопчатника.

Если в качестве сооружений искусственной биологической очистки используются капельные биофильтры с пропускной способностью до 50 м³/сутки, то нагрузка на них принимается на 30% меньше, чем нагрузка на такие же сооружения большей производительности (см. гл. XVIII).

Для полной биологической очистки сточных вод с расходом до 200 м³/сутки применяются аэрационные установки, работающие по методу «полного» окисления — аэротенки с продленной аэрацией, а для расходов сточных вод до 1400 м³/сутки — аэрационные сооружения с аэробной стабилизацией избыточного активного ила.

На установках с капельными биофильтрами допускается использование вторичных отстойников в качестве контактных резервуаров.

Обеззараживание сточных вод после искусственной биологической очистки производится раствором хлорной извести.

При количестве сточных вод более 15 м³/сутки применяются дозирующие устройства, при меньших их количествах эти устройства не предусматриваются, но дозу хлорной извести по активному хлору увеличивают на 20—25%.

При хлорировании сточных вод с дозирующими устройствами концентрацию раствора принимают с таким расчетом, чтобы расход его был не менее 20 л/ч. Хлорирование сточных вод без дозирующих устройств производится раствором хлорной извести концентрацией до 5%, при этом раствор следует вводить в дезинфектор от одного до пяти раз в сутки в зависимости от количества сточных вод.

Для обеззараживания сточных вод на установках малой пропускной способности в НИИ КВ и ОВ АКХ имени К. Д. Памфилова разработан метод электролитического разложения поваренной соли, хлоридов морской воды, подземных минерализованных вод с получением гипохлорита натрия. Для получения электролитического гипохлорита натрия из растворов поваренной соли производительность установок составляет до 25 кг/сутки, считая по активному хлору, и из минерализованных вод — 24 кг/сутки.

Иловые площадки, предназначенные для обезвоживания осадка из первичных и вторичных отстойников, как правило, устраиваются на естественном грунте без дренажа; они могут быть открытыми или располагаться под навесом. Полезная площадь иловых площадок должна определяться из условия 0,33 м² на одного жителя. Число карт должно быть не менее двух.

§ 130. КОМПАКТНЫЕ АЭРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Компактные аэрационные установки предназначаются для биологической очистки сточных вод методом «полного окисления» с аэробной стабилизацией избыточного активного ила, а также методом контактной стабилизации.

Типовые установки разработаны на пропускную способность от 12 до 700 м³/сутки.

Результаты эксплуатации показали, что установки, работающие по методу полного окисления, экономичнее при пропускной способности до 200 м³/сутки, при большей пропускной способности — аэрационные установки, работающие с образованием избыточного активного ила и с аэробной его стабилизацией.

Компактная установка заводского изготовления типа КУ-12, предназначенная для биологической очистки бытовых сточных вод и близких к ним по составу производственных сточных вод, показана на рис. 4. 162.

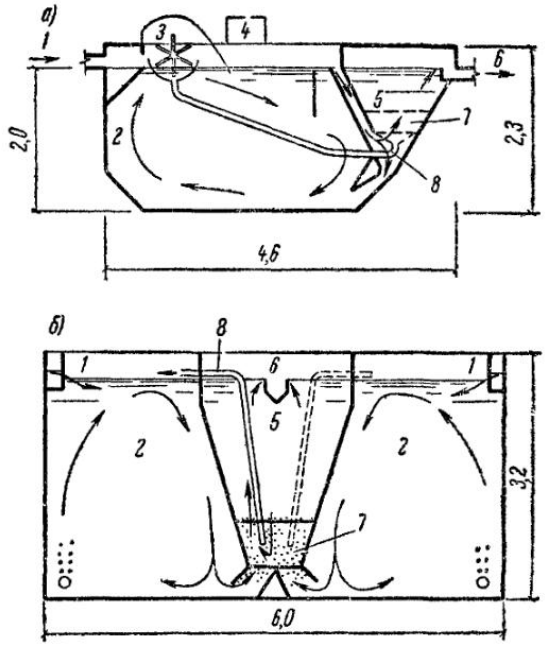


Рис. 4.162. Схемы установок для очистки сточных вод по методу полного окисления пропускной способностью 12—700 м³/сутки

а — установка КУ-12; *б* — унифицированная компактная установка МОСС № 4 и НИИ КВ и ОВ; *1* — подающий трубопровод; *2* — зона аэрации; *3* — аэратор; *4* — электродвигатель и редуктор под кожухом: *5* — зона отстаивания; *6* — отводящий трубопровод (лоток); *7* — бункер постоянного уровня; *8* — трубопровод возвратного ила

Очистка осуществляется методом «полного окисления» органических загрязнений, как жидкой, так и твердой фаз сточных вод в аэробных условиях. В этом случае нет необходимости строить отдельные сооружения для сбраживания осадка, а также иловые площадки для подсушки сброженного осадка.

Установка представляет собой металлический резервуар, разделенный системой перегородок на аэрационную и отстойную зоны. На входе имеются пескоулавливающий лоток и решетка с прозорами 16 мм.

Аэрация сточных вод осуществляется механическими аэраторами поверхностного типа или с пневматической подачей воздуха.

В зависимости от способа подачи сточной воды установка монтируется на уровне земли или заглубляется с тем, чтобы сточная вода поступала в нее самотеком. В первом случае требуется утепление установки. Во втором случае при применении установки в климатических зонах со среднезимней температурой до минус 30° С она монтируется на открытом воздухе; при более суровых климатических условиях над установкой возводится неотапливаемый шатер.

Техническая характеристика установки КУ-12

Пропускная способность, м³/сутки	12
Приведенное число жителей, обслуживаемых установкой (при норме водопотребления 200 л/чел в сутки), чел.	60

Качество поступающих на установку сточных вод, мг/л·	
по $БПК_5$	270
по взвешенным веществам	320
Качество очищенных сточных вод, мг/л	
по $БПК_5$	20
по взвешенным веществам	30
Период аэрации, ч	24
Продолжительность отстаивания по максимальному притоку, ч	1,5
Доза ила в аэротенке, г/л	5—6
Габариты, м	2×4,6×2,3
Масса, т	2
Стоимость установки, тыс руб.	2,25

Компактная установка КУ-100-200-400-700 (рис. 4. 163 и 4. 164) представляет собой аэрационное сооружение с аэробным сбраживанием (аэробной стабилизацией) избыточного активного ила. Она выполнена в

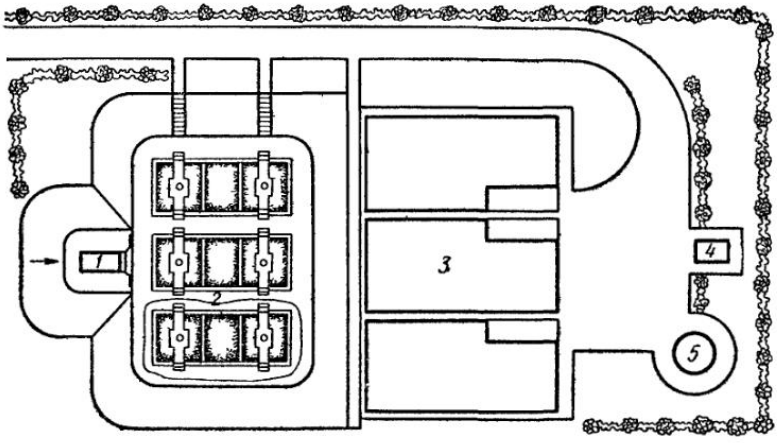


Рис. 4 163. Генплан (частный случай решения) размещения установки типа КУ 200-400-700

1 — блок приемной камеры и решетки дробилки, *2* — блок биологической очистки и обработки осадка, *3* — иловые площадки, *4* — хлораторная, *5* — насосная станция

виде металлической емкости, разделенной на три зоны: аэрации, отстаивания и аэробного сбраживания. Сточная вода проходит решетку-дробилку РД-200, где происходит измельчение всех содержащихся в ней крупных примесей, и затем без отстаивания подается в зону аэрации. Механическим аэратором дискового типа или при помощи сжатого воздуха, подаваемого от компрессора, в этой зоне осуществляется полная биологическая очистка. После аэрации сточная вода в смеси с активным илом поступает в зону отстаивания, где активный ил оседает. Ил, выпадающий в бункерной части зоны отстаивания, перекачивается частично при помощи механических аэраторов в зону аэрации для повторного использования (возвратный ил) и частично в зону аэробного сбраживания (избыточный ил). Очищенная сточная вода отводится сборными лотками за пределы установки.

Аэробное сбраживание (окисление органических веществ) избыточного активного ила происходит в течение нескольких суток. Сброженный осадок периодически удаляется на иловые площадки для подсушки. Очищенная сточная вода отводится в водоем. В зависимости от пропускной способности установки станция компонуется из 3—4 параллельно работающих секций по 100(200) м³/сутки каждая.

На станции размещаются иловая площадка, контактные резервуары и хлораторная.

Принципиальная схема установки полного окисления с отдельной аэробной стабилизацией избыточного активного ила пропускной способностью до 700 м³/сутки приведена на рис. 4. 165.

Для этой установки наиболее целесообразным является применение механической системы аэрации. Механические аэраторы просты в изготовлении и эксплуатации, особенно в условиях малонаселенных мест; значительно снижаются (в сравнении с пневматической системой аэрации) затраты электроэнергии на единицу растворенного кислорода — с 0,77 до 0,44 кВт·ч на 1 кг O_2; возврат активного ила из зоны отстаивания

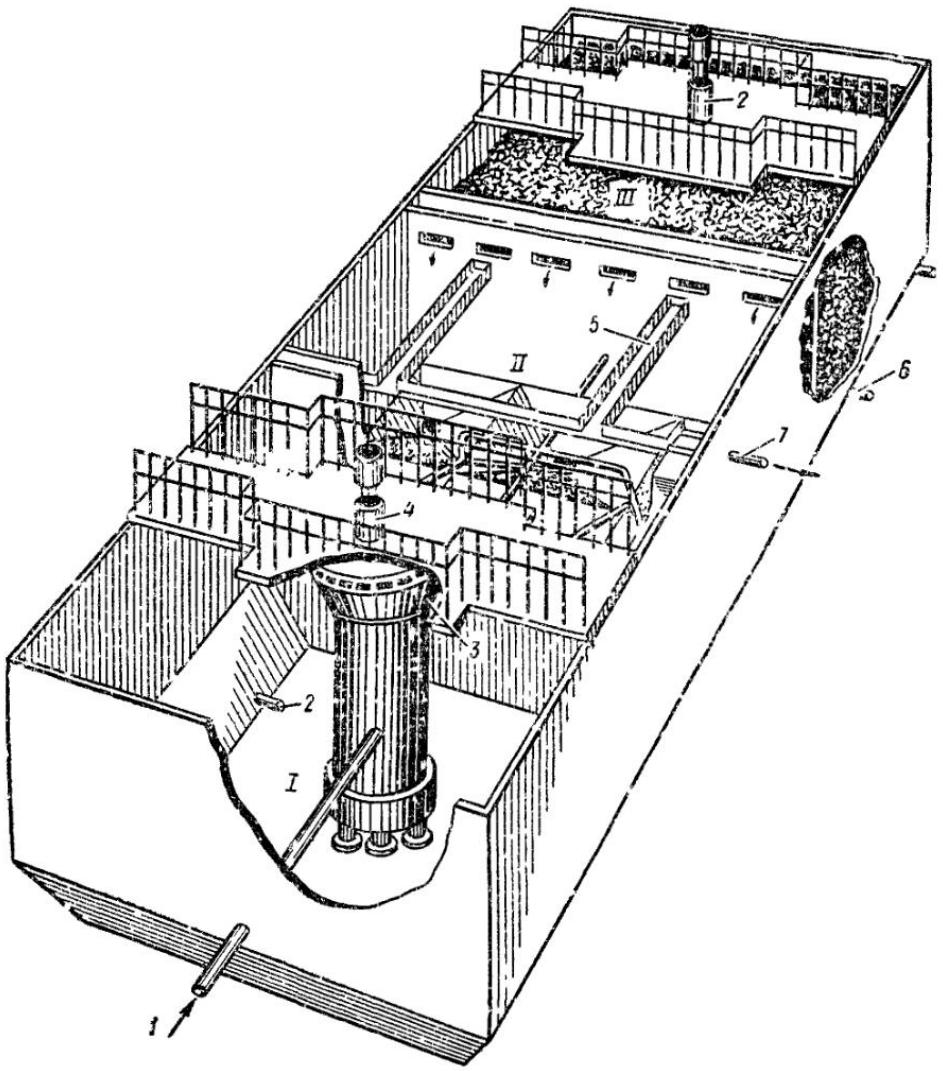


Рис 4.164. Схема устройства установки типа КУ-200-400-700

I — зона аэрации; *II* — зона отстаивания; *III* — зона аэробного сбраживания; *1* — подача воды на очистку, *2* — возвратный активный ил; *3* — стабилизатор потока, *4* — механический аэратор *5* — сборный лоток; *6* — трубопровод опорожнения сброженного активного ила, *7* — трубопровод очищенных сточных вод

в зону аэрации может быть осуществлен за счет гидростатического напора, создаваемого механическим аэратором. При применении одной установки необходим резервный комплект механического аэратора.

Техническая характеристика установок приведена в табл. 4. 73.

Компактные установки для биологической очистки сточных вод методом контактной стабилизации позволяют полнее использовать свойство активного ила и усовершенствовать режим работы аэротенков с регенераторами. При этом сокращается продолжительность аэрации смеси

сточных вод с активным илом. Такой усовершенствованной технологией является процесс контактной стабилизации, основанный на способности активного ила быстро сорбировать взвешенные и коллоидные вещества загрязнений, а также создании большой контактной поверхности активного ила, находящегося в стабильном состоянии (при дефиците питательных веществ).

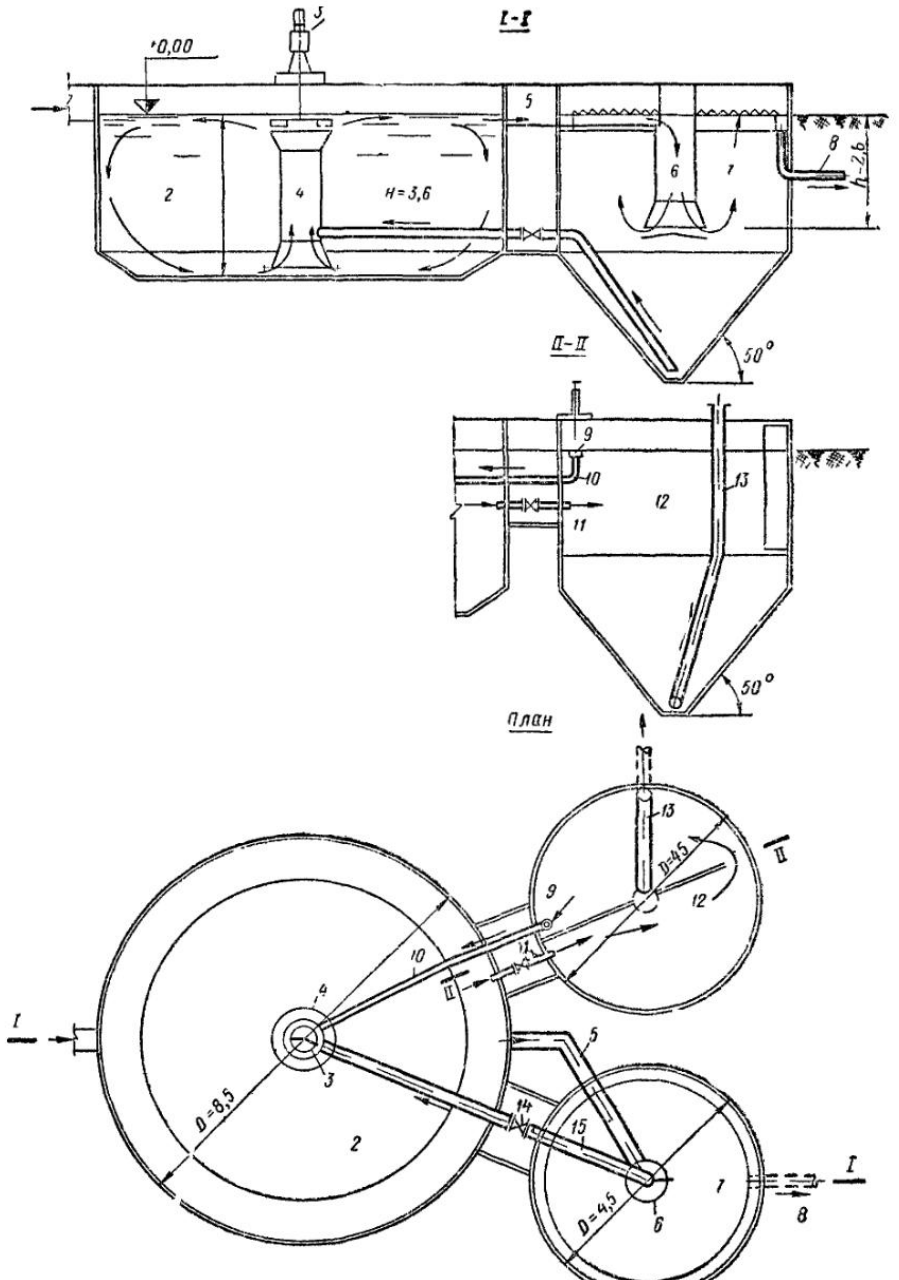


Рис. 4 165. Схема установки полного окисления пропускной способностью 700 м³/сутки

1 — подводящий трубопровод, *2* — зона аэрации; *3* — механический аэратор; *4* — стабилизатор потока; *5* — лоток к отстойникам, *6* — опускная труба, *7* — зона отстаивания, *8* — выпуск; *9* — подвижной водослив, *10* — трубопровод осветленной воды, *11* — трубопровод избыточного ила, *12* — накопитель-уплотнитель, *13* — иловыжимная труба; *14* — регулирующая задвижка, *15* — трубопровод возвратного ила

Таблица 4.73

Техническая характеристика установки полного окисления

Показатель	Пропускная способность, м³/сутки		
	200	400	700
Количество секций, шт.	1	2	3
Условное число жителей, обслуживаемых установкой (при норме водоотведения 200 л/чел в сутки), чел.	1000	2000	3500
Максимальный расход сточной воды, м³/ч	20	40	60
Качество поступающих на установку сточных вод по $БПК_{20}$, мг/л	270	270	270
Качество очищенных сточных вод, мг/л:			
по $БПК_{20}$	15	15	15
по взвешенным веществам	15	15	15
Период аэрации, ч	4,5	4,5	4,5
Количество избыточного активного ила по сухому веществу, кг/сутки	80	160	240
Продолжительность аэробного сбраживания, сутки	6,7	6,7	5,8
Масса установки, т	23	46	69
Стоимость установки, тыс. руб.	14	28	42

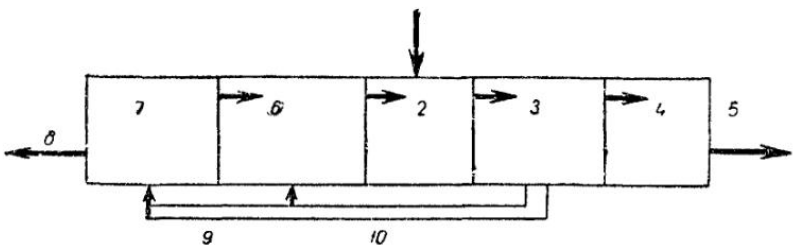


Рис. 4.166. Схема компактной установки биологической очистки сточных вод методом контактной стабилизации

1 — сточная вода; *2* — аэротенк контактной стабилизации; *3* — отстойник; *4* — контактный резервуар для хлорирования; *5* — очищенная сточная вода; *6* — регенератор активного ила; *7* — аэробный стабилизатор избыточного активного ила; *8* — выпуск минерализованного ила; *9* — избыточный активный ил; *10* — возвратный активный ил

Схема работы компактной установки (рис. 4. 166) заключается в том, что сточная вода после прохождения механической очистки подвергается аэрации вместе с регенерированным активным илом в течение 0,5—2 ч. Затем активный ил отделяется от сточной воды в отстойной части установки и его направляют в регенератор. В процессе регенерации достигается стабилизация активного ила и он приобретает свойства быстро связывать органические взвешенные и коллоидные вещества. Продолжительность периода регенерации определяется концентрацией активного ила, нагрузкой на сооружения и требуемой степенью очистки и составляет 2—6 ч. При этом следует применять самый короткий период стабилизации активного ила, дающий достаточную минерализацию сорбированных им загрязнений сточных вод. Этот метод позволяет уменьшить общий объем аэротенков и получить высокий эффект очистки сточных вод

(снижение $БПК_{полн}$ до 95%). Эксплуатационные расходы при применении этого метода не увеличиваются.

Биологические очистные сооружения типа БИО, разработанные ГПИ Эстонпроект, предназначаются для полной биологической очистки бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод.

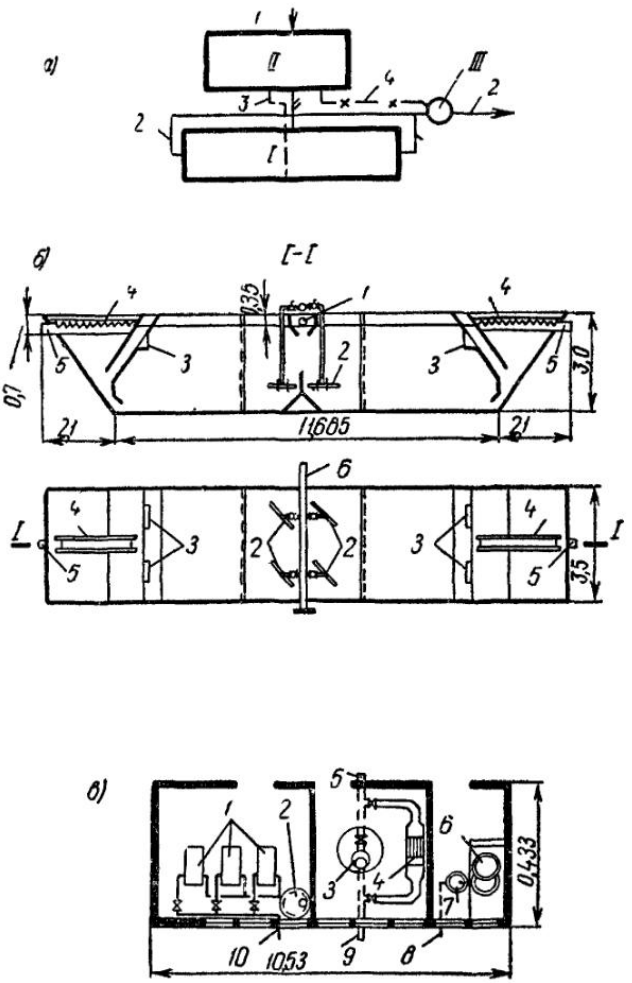


Рис. 4.167. Технологическая схема очистных сооружений установки БИО-100 (Эстонпроект)

а — компоновка очистных сооружений: *I*—установка БИО-100; *II* — вспомогательное здание; *III* — контактный бассейн; трубопроводы; *1* — подачи сточной воды; *2* — очищенной воды; *3* — воздуха; *4* — хлорной воды; *б* — установка БИО-100: *1* — подводящая труба ⌀ 150 мм; *2* — аэраторы из дырчатых труб: *3* — регулируемое отверстие; *4* — зубчатый водослив; *5* — отводящая труба ⌀ 150 мм; *6* — подвод сжатого воздуха ⌀ 80 мм; *в* — вспомогательное здание: *1*— воздуходувки; *2* — глушитель шума; *3* — решетка-дробилка РД-200; *4* — решетка с ручной очисткой; *5* — подвод сточной воды; *6* — бачки раствора хлорной извести; *7* — дозировочный бачок; *8* — трубопровод раствора хлора; *9* — отвод сточной воды; *10* — трубопровод сжатого воздуха

Установка БИО представляет собой аэротенк-отстойник с продленным циклом аэрации. Продолжительность аэрирования смеси сточной воды и активного ила в среднем 24 ч. За это время происходит, кроме окисления содержащихся в сточной воде органических веществ, минерализация активного ила, и таким образом количество образуемого избыточного ила сокращается. Минерализованный ил не имеет запаха и не требует дальнейшей обработки. Удаление избыточного ила из аэрационной части сооружения производится 2—3 раза в год с помощью ассенизационных машин.

Для очистки сточных вод в количестве 25, 50 и 100 м³/сутки разработаны три типоразмера аэротенков-отстойников: БИО-25, БИО-50 и БИО-100 (рис. 4. 167). Суточная нагрузка по $БПК_5$ соответственно 8, 16 и 32 кг/сутки. Для объектов с расходом 200 м³/сутки предусматривается параллельная работа двух установок. Количество обслуживаемого населения от 150 до 1200 человек.

Аэротенки-отстойники типа БИО состоят из металлических торцовых

Таблица 4.74

Технико-экономические показатели сооружений типа БИО

Показатель	Пропускная способность очистных сооружений, м³/сутки			
	25	50	100	200
Средняя гидравлическая нагрузка, м³/сутки	25	50	100	200
Средняя окислительная способность, кг $БПК_5$/сутки	8	16	32	64
Количество обслуживаемого населения, чел.	150	300	600	1200
Нагрузка по $БПК_5$ на 1 м³ аэротенка, г $БПК_5$/м³ в сутки . . .	320	320	320	320
Масса металлических конструкций, т	5,3	9,25	11,9	23,8
Установочная мощность, кВт	7,3	9,7	17,6	22,7
Максимальная потребляемая мощность, кВт .	4,5	5,7	11,6	17
Стоимость очистных сооружений, тыс. руб. .	7,85	10,12	15,59	23,37
В том числе:				
аэротенк-отстойник, тыс. руб.	3,12	5,28	7,19	14,38
вспомогательное здание с оборудованием, тыс. руб. . . .	4,73	4,84	8,4	8,99
Капиталовложения, отнесенные на 1 м³ сточных вод в сутки, руб/м³	314	203	156	117
Себестоимость очистки сточных вод, коп/м³	10,6	6,5	6,2	5,1

и средних секций, изготовляемых цехом Раквереского районного объединения Эстсельхозтехника. Секции привозятся на стройплощадку, где происходят монтаж установки и присоединение аэротенка к подводящему коллектору, на трайлерах.

В отдельном помещении находятся воздуходувки и хлораторная, а при пропускной способности более 100 м³/сутки — еще решетка-дробилка. При привязке в состав сооружений могут быть дополнительно включены контактный резервуар и иловые площадки.

Установки серии БИО обеспечивают высокий эффект очистки при относительно небольших капиталовложениях (табл. 4.74). Централизованное заводское изготовление и комплектация установки сокращают и упрощают работы по монтажу на месте и не требуют привлечения специализированных строительных организаций.

Эксплуатация малой канализации должна осуществляться районными или межрайонными производственными управлениями Водоканала. В сферу обслуживания этих управлений входят все объекты, находящиеся в радиусе 70—100 км. Работа выполняется передвижными бригадами, а в районном центре сосредоточиваются службы управления. На объектах остается только персонал, который обязан вести непрерывное наблюдение за технологическими процессами.

Для обслуживания канализационных очистных сооружений пропускной способностью до 1000 м³/сутки создаются передвижные бригады. Каждая бригада оснащается средствами транспорта, необходимым оборудованием, средствами для осуществления простейших анализов, а в ряде случаев — контейнером для сбора мусора с решеток. Передвижные технологические бригады создаются из 2—3 человек, обслуживающих очистные сооружения по графику. Число бригад определяется количеством очистных сооружений, необходимой частотой обслуживания, расстоянием между сооружениями и т. д.

В обязанности технологической службы входят:

поддержание заданного технологического режима очистных сооружений;

регулирование технологического режима в зависимости от расхода воды, ее физических и химических характеристик, а также качества применяемых реагентов;

наблюдение за работой механического и электрического оборудования;

ведение технической документации, в которой фиксируются все показатели работы очистных сооружений.

Районные управления должны иметь лабораторию, предназначенную для контроля качества воды и оснащенную контрольными приборами для определения количества загрязнений в поверхностных водах, обработанной воде и в сточных водах, показателей pH, БПК, электрической проводимости, количества растворенного кислорода, температуры и содержания взвешенных веществ. Полученные показатели передаются с помощью устройства телепередачи к миниатюрной вычислительной машине, которая методом математического моделирования определяет изменения количества загрязнений.

Раздел пятый

КАНАЛИЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Глава XXV

СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ

Канализование промышленных предприятий предусматривает: отведение с территории промышленных предприятий только тех отработавших загрязненных (сточных) вод, дальнейшее использование которых на данном предприятии невозможно по технологическим условиям или нецелесообразно по технико-экономическим показателям; очистку сточных вод для охраны водоемов от загрязнения.

Основным направлением в решении проблемы охраны водоемов является максимальное сокращение отходов, потерь сырья и готовой продукции, сбрасываемых со сточными водами в канализацию, и максимальное сокращение количества сточных вод. Потери могут быть уменьшены путем совершенствования технологических процессов и регенерации попадающих в сточные воды ценных веществ.

Количество сбрасываемых в канализацию сточных вод может быть уменьшено путем повторного использования отработавшей воды на тех же производственных операциях, где она образовалась, или использования такой воды для других технологических нужд, где возможно применение воды более низкого качества, чем вода из основного водопровода. При этом могут быть два основных варианта использования сточных вод: 1) после предварительной их обработки (например, нейтрализации) или очистки (например, отстаивания) на том же или соседнем предприятии; 2) без предварительной обработки.

Существенное сокращение количества сточных вод достигается за счет применения воздушного охлаждения конденсационно-холодильных аппаратов вместо водяного охлаждения.

Введение циклов повторного использования сточных вод, замена водяного охлаждения воздушным обусловливают необходимость комплексного решения всех вопросов водоснабжения и канализации, связанных с технологией промышленных предприятий.

Особое внимание должно уделяться размещению на территории промышленной площадки инженерных коммуникаций (технологических трубопроводов, водопроводов, газопроводов, канализационных коллекторов, насосных станций и др.). Экономически эффективным является комплексное решение систем водоснабжения и канализации населенных мест и промышленных предприятий, территориально объединенных в одном промышленном районе. Кардинальным решением с точки зрения охраны поверхностных водоемов от загрязнений сточными водами является осуществление «бессточной» системы канализации.

§ 131. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА, СОСТАВА, СВОЙСТВ И РЕЖИМА ОТВЕДЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

На промышленных предприятиях, как правило, приходится отводить три основных вида сточных вод:

1) производственные, представляющие собой воды, отработавшие

в технологическом процессе производства или получающиеся при добыче полезных ископаемых (например, воды угольных шахт, рудников, пластовые воды нефтяных промыслов и т. п.);

2) бытовые — от санитарных узлов административных и производственных корпусов, от мытья полов в этих корпусах, а также от душевых установок, расположенных в производственных цехах или специальных павильонах;

3) атмосферные — дождевые и от таяния снега.

Количество, режим поступления и состав производственных сточных вод находятся в зависимости от вида перерабатываемого сырья, технологического процесса производства, качества воды, потребляемой для производственных целей, местных условий и ряда других факторов.

Вид перерабатываемого сырья оказывает значительное влияние на состав производственных стоков; нередко составные части сырья являются основным компонентом загрязнения сточных вод. Так, например, основным загрязнителем сточных вод углеобогатительных фабрик являются частицы угля; на нефтепромыслах и нефтеперерабатывающих заводах такими загрязнителями являются нефть и нефтепродукты; на кожевенных заводах и шерстомойных фабриках — шерсть и жиры; на предприятиях основной химии — кислоты, щелочи и т. д.

Кроме того, в одной и той же отрасли промышленности на предприятиях одного профиля количество сточных вод неодинаково, и они имеют различную концентрацию загрязнений.

Вода используется в производстве на различные нужды. Бо́льшая часть воды (70—90%) расходуется для охлаждения полупродуктов или продуктов производства, а также силовых агрегатов, при этом она не получает специфических загрязнений, а только нагревается, хотя могут быть случаи попадания охлаждаемого продукта в воду через неплотности в теплообменных аппаратах. Вода используется для транспортирования механических (минеральных и органических) примесей, для очистки газов, для промывки готовой продукции; при этом она загрязняется продуктами, с которыми соприкасается (например, при обогащении руды, угля, переработке нефти, промывке газов и т. д.).

Значительное влияние на количество и качество сточных вод имеет система водоснабжения; чем полнее развито оборотное водоснабжение, т. е. повторное использование отработавшей воды на те же технологические нужды или использование ее на другие нужды данного или соседних предприятий, тем меньше абсолютное количество сточных вод и тем, как правило, больше содержится в них загрязнений.

Эффективность использования воды промышленными предприятиями может оцениваться несколькими методами.

Техническое совершенство системы водоснабжения оценивается количеством использованной оборотной воды в %:

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{ист} + Q_{сыр}} 100, \qquad (5.1)$$

где $Q_{об}$ — количество воды, используемой в обороте;

$Q_{ист}$ и $Q_{сыр}$ — количество воды, забираемой из источника и поступающей в систему водоснабжения с сырьем и др.

Рациональность использования воды, забираемой из источника, оценивается коэффициентом использования:

$$k_и = \frac{Q_{ист} + Q_{сыр} - Q_{сбр\ вод}}{Q_{ист} + Q_{сыр}} \leqslant 1, \qquad (5.2)$$

где $Q_{сбр.вод}$ — количество сточных вод, сбрасываемых в водоем.

Коэффициент использования воды промышленностью СССР составляет 0,27, на передовых предприятиях — 0,75—0,87.

Безвозвратное потребление и потери воды определяются по формуле

$$P_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{ист}} + Q_{\text{сыр}} - Q_{\text{сбр.вод}}}{Q_{\text{ист}} + Q_{\text{сыр}} + Q_{\text{посл}} + Q_{\text{об}}} 100, \qquad (5.3)$$

где $Q_{\text{посл}}$ — количество воды, используемой в обороте последовательно.

Фактические потери воды по промышленности СССР в целом равны 2,5%, в том числе на ТЭС — 1,25—2%, в промышленности без ТЭС — 3,6%.

Учет водопотребления и водоотведения должен быть организован на основании показаний водомеров.

При проектировании канализации промышленных предприятий необходимо иметь полный физико-химический анализ состава общего стока производственных вод и основных цеховых стоков. В анализах должны быть указаны качественный и количественный состав загрязнений — содержание фенолов, сернистых соединений, нефтепродуктов, хлоридов и др., а также ядовитых веществ (тетраэтилсвинца, цианидов, ртути, мышьяка, меди и др.). На основании этих данных может быть разработана рациональная схема отведения, обработки и использования производственных сточных вод.

По своему составу производственные сточные воды делятся на две основные группы: незагрязненные (условно чистые) и загрязненные.

Незагрязненные производственные сточные воды поступают в основном от конденсаторов паровых машин, холодильников и др.

Загрязненные производственные сточные воды могут содержать различные примеси. Одни из них загрязнены преимущественно минеральными веществами, другие — преимущественно органическими веществами; большинство же видов сточных вод содержит смешанные загрязнения.

В некоторых случаях производственные сточные воды могут оказаться опасными в эпидемиологическом отношении (например, сточные воды боен, кожевенных заводов, фабрик по выработке противоэпидемических сывороток, которые могут содержать бактерии сибирской язвы, возбудителей сапа и другие бактерии).

По содержанию загрязняющих веществ сточные воды делятся на высококонцентрированные и слабоконцентрированные.

При оценке качества производственных сточных вод особое внимание следует обращать на активную реакцию воды pH. Эта величина определяет выбор материалов для канализационных сооружений.

По степени агрессивности сточные воды разделяют на:

слабоагрессивные (слабокислые с pH=6...6,5 и слабощелочные с pH=8...9);

сильноагрессивные (сильнокислые с pH<6 и сильнощелочные с pH>>9).

При оценке агрессивности сточных вод нужно учитывать их температуру и скорость движения, так как увеличение того или другого показателя в большинстве случаев ускоряет процесс коррозии.

Сточные воды, содержащие ядовитые примеси, необходимо прежде всего использовать в производстве, в котором они образуются, или в родственном. Например, в рассольном цикле хлорного производства ртутьсодержащая сточная вода, освобожденная от взвешенных веществ, при определенных условиях может быть использована для приготовления рассола ртутного электролиза. При этом ртуть оказывается локализованной в одном производстве. Согласно данным о растворимости

ртути в водных растворах, ртуть не будет осаждаться из раствора и возвратится в производственный цикл без потерь.

Качественный и количественный составы производственных сточных вод определяют на действующих предприятиях по результатам физико-химических анализов, а для проектируемых предприятий за основу принимаются данные работы аналогичных предприятий.

В тех случаях когда предварительное ознакомление с технологией производства дает основание считать, что на предприятии в различных цехах образуются сточные воды, резко различающиеся по своим свойствам, необходимо исследовать стоки отдельных производств, лабораторий и т. д. Полученные данные позволяют выявить наиболее вредные стоки и решить вопрос о целесообразности устройства (цеховых) очистных сооружений или осуществления других мероприятий для обезвреживания сточных вод этих производств.

При исследовании производственных сточных вод во многих случаях очень важно провести технологический анализ, т. е. установить кинетику осаждения (всплывания) механических примесей, коагулируемость и фильтруемость сточных вод, их электропроводность, радиоактивность и поверхностное натяжение. Эти данные обусловливают выбор наиболее целесообразных методов очистки стоков.

Количество производственных сточных вод определяется по производительности предприятия и укрупненным нормам водоотведения (на единицу готовой продукции или перерабатываемого сырья, а для электрических станций — на единицу мощности установленных машин), при отсутствии таких норм — по данным технологических расчетов, выдаваемых в виде задания на проектирование канализации.

Удельные расходы сточных вод в различных отраслях промышленности колеблются в широких пределах. Так, например, при обогащении 1 т руды цветных металлов образуется 50—90 м³ сточных вод, при выплавке 1 т меди — до 350 м³, 1 т никеля — до 800 м³, 1 т алюминия — 1500 м³, при выработке 1 т бумаги образуется до 150 м³ сточных вод, 1 т целлюлозы — 450 м³ и т. д. При современных масштабах производства предприятия многих отраслей промышленности сбрасывают большие количества (до 300 тыс. м³/сутки) сточных вод, отличающихся по характеру загрязнений и концентрации.

Каждый из видов производственных сточных вод следует учитывать отдельно. Количество их определяется или для отдельных предприятий, или для их групп в зависимости от взаимного расположения и от того, разрабатывается ли схема канализации для одного предприятия или для ряда промышленных объектов того или иного экономического района.

При расчетах системы канализации для таких предприятий нельзя пользоваться только укрупненными общезаводскими нормами водоотведения, а следует учитывать также количество и состав сточных вод от отдельных производственных операций. Только такая дифференциация стоков позволяет найти правильное решение по их объединению для последующей совместной очистки, исходя из характера загрязняющих веществ и их концентрации, а также установить те производственные стоки, которые целесообразно выделить и обработать отдельно.

В частности, сточные воды от прокатных станов следует подвергнуть специальной обработке для извлечения из них масел; сточные воды химического производства должны быть сначала обесфенолены и только после этого направлены на очистные сооружения.

Сточные воды небольших промышленных предприятий, расположенных в городах, отдельно не учитываются, если они обеспечиваются водой из коммунальных водопроводов, так как потребляемое этими предприятиями количество воды учитывается в нормах водоотведения бытовых сточных вод для данного города.

Сточные воды особо крупных и водоемких промышленных предприятий, применяющих схемы оборотного водоснабжения и использующих для своих нужд местные (дополнительные) источники водоснабжения, учитываются отдельно.

Из общего количества загрязненных стоков выделяются сточные воды, содержащие особо опасные вещества — радиоактивные, сильные яды и т. д., обработка которых должна производиться на локальных очистных сооружениях.

Одной из основных задач при проектировании канализации промышленных предприятий является правильное определение расчетных (среднесуточных, часовых и секундных) расходов сточных вод, их состава, свойств и режима притока. Количество сточных вод на промышленных предприятиях, как правило, меньше количества поданной для них водопроводной воды и находится в зависимости от системы водоснабжения.

При прямоточной системе водоснабжения (рис. 5.1, *а*) канализационной сетью отводится вся отработавшая вода в количестве $Q_1 = Q - q_1$, где Q — количество воды, поданной водопроводом, и q_1 — количество безвозвратно потерянной в производстве воды. Загрязненная при использовании в производстве вода после ее очистки спускается в водоем.

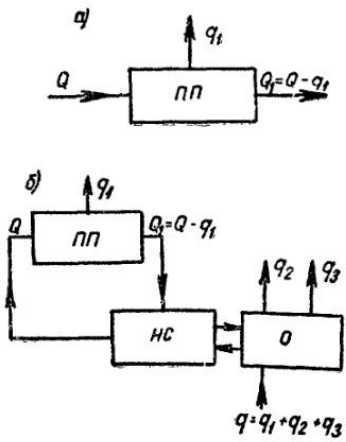


Рис. 5.1. Схемы канализации промышленных предприятий при разных системах водоснабжения

ПП — промышленное предприятие; *НС* — насосная станция; *О* — охладитель

При системе оборотного водоснабжения (рис. 5.1, *б*) вся отработавшая вода или часть ее вновь подается на производство после той или иной ее обработки (охлаждение, отстаивание); в отдельных случаях предварительной обработки воды не требуется, и она используется последовательно.

При этой системе из источника приходится подавать только такое количество так называемой свежей воды, которое компенсирует: безвозвратные потери в производстве q_1 (такие же, как и при прямоточной системе); безвозвратные потери q_2 на охладительных сооружениях (испарение, разбрызгивание и унос ветром) или в отстойниках (испарение с поверхности, унос с влажным осадком); расход воды q_3, сбрасываемой в канализацию во избежание повышения солевого состава (минерализованности) оборотной воды. Суммарная потеря воды $q_1 + q_2 + q_3$ составляет от 5 до 10% общего количества воды Q, циркулирующей в системе. В канализационную сеть сбрасывается только часть воды, забираемой из источника, равная расходу ее на обновление оборотной воды.

В балансе водопотребления указывается обычно общее количество всей воды Q. Для расчета канализационных сооружений необходимо определять величину q_3, которая зависит от количества свежей воды и от режима обмена воды в оборотной системе. Обмен может производиться постоянно или периодически (каждые сутки или через несколько суток), т. е. режим водоотведения в каждом отдельном случае может быть различен.

В практике встречаются и другие, нередко более сложные системы водоснабжения и канализации. Так, в некоторых случаях пополнение водой одного оборотного цикла может производиться водой из другого цикла; отработавшая вода в одном цехе может подаваться для вторичного использования в другой цех, к другому потребителю того же

цеха и т. д. Может осуществляться смешанное водоснабжение, когда одна часть цехов имеет оборотное водоснабжение, а другая часть — прямоточное.

Все особенности системы водоснабжения оказывают влияние на систему канализации и на количество отводимой ею воды.

Иногда требуется предусматривать возможность приема в канализацию воды от опорожнения (при ремонтных работах, чистках) сооружений, входящих в систему водоснабжения (градирни, охладительные бассейны с брызгальными устройствами, отстойники). Канализационная сеть в этих случаях должна быть рассчитана на прием таких периодических выпусков; производить их следует в часы наименьшей загруженности канализационной сети.

Расчетные расходы производственных сточных вод, поступающих на канализационные сооружения, $Q_{сут}$, м³/сутки, и $q_{макс.с}$, л/с, определяются, как уже указывалось, по данным, представляемым технологами, или по производительности предприятия и удельным нормам водоотведения:

$$Q_{сут} = mM; \tag{5.4}$$

$$q_{макс\ с} = \frac{mM_1}{t \cdot 3{,}6} K_ч, \tag{5.5}$$

где m — норма водоотведения на единицу продукции или перерабатываемого сырья с учетом оборота воды, м³;

M — число единиц продукции или перерабатываемого сырья в сутки;

M_1 — то же, в смену с максимальной выработкой;

t — число рабочих часов в смену;

$K_ч$ — коэффициент часовой неравномерности.

Если в состав данного предприятия (комбината, завода) входит ряд производств, выпускающих различную продукцию, количество сточных вод необходимо определять для каждого из них.

Общее количество сточных вод предприятия

$$\Sigma Q = m_1 M_1 + m_2 M_2 + \ldots + m_n M_n, \tag{5.6}$$

где $m_1, m_2, \ldots, m_n$ — норма водоотведения на единицу продукции или сырья;

$M_1, M_2, \ldots, M_n$ — производительность предприятия по каждому виду производства.

В некоторых случаях расчетный расход определяется на отдельный производственный агрегат (машину) за единицу времени при максимальной его производительности. В большинстве случаев определяют не только общий расход производственных сточных вод, но и распределение его по цехам, сменам и отдельным выпускам из цехов. Кроме того, определяют количество производственных сточных вод, различных по характеру их загрязнений (кислые, щелочные, нейтральные и др.).

Расчет лотков и труб для отвода производственных сточных вод от отдельных аппаратов производится по максимальному секундному расходу. *Цеховые трубопроводы и наружные коллекторы, предназначенные* для приема сточных вод от цеха или корпуса в целом, рассчитываются по сумме максимальных часовых расходов (цеха, корпуса) с учетом возможности совпадения максимальных расходов при форсированном режиме производства.

Общезаводские и внеплощадочные коллекторы, принимающие сточные воды от ряда корпусов, рассчитываются по совмещенному графику часовых расходов или по сумме часовых максимальных расходов с введением коэффициентов, учитывающих несовпадение (по времени) расходов.

Бытовые сточные воды на предприятиях учитываются отдельно; расчетные их расходы определяются в соответствии с данными, приведенными в гл. V.

Расчетные расходы дождевых вод определяются в зависимости от местных условий — географического местонахождения промышленного предприятия, рельефа, благоустройства территории (см. гл. XIII). Эти воды с территории отводятся самостоятельной сетью или совместно с производственными сточными водами.

Дождевая сеть рассчитывается на максимальный секундный расход незагрязненных дождевых вод. Периоды однократного превышения расчетной интенсивности дождя для промышленных предприятий следует принимать в пределах 1—3 лет, а для предприятий, расположенных в замкнутой котловине, — 5 лет.

Количество загрязнений в дождевых водах с территории промышленных предприятий рассчитывается на 1 га площади. Для регулирования притока дождевых вод на очистные сооружения допускается предусматривать регулирующие резервуары или пруды-накопители. Вода поступает в пруд-накопитель, где осветляется, после чего должна использоваться в производственном водоснабжении или на полив.

При проектировании канализации требуется знать не только величину расхода сточных вод, но и режим их поступления по времени, определяемый графиками колебания притока. От режима водоотведения зависит величина расчетного расхода, а от нее — размер сечения коллекторов, а следовательно, и стоимость строительства.

Длительными наблюдениями установлено, что поступление производственных сточных вод в канализационную сеть на различных предприятиях не подчиняется какой-либо определенной закономерности. Они могут поступать в течение смены равномерно, неравномерно и разовыми (залповыми) спусками. Последние наблюдаются на производствах, где происходит периодическое опорожнение емкостей (ванн, резервуаров и пр.). Режим спуска производственных сточных вод определяется технологическим процессом отдельных цехов и предприятия в целом.

Коэффициенты часовой неравномерности общего стока $K_ч$ для различных отраслей промышленности колеблются в значительных пределах. По данным ВНИИ ВОДГЕО они составляют на предприятиях промышленности:

Металлургической	1—1,1
Химической	1,3—1,5
Текстильной	1—1,15
Пищевой	1,5—2
Кожевенной	1,5—2,1
Бумажной	1,3—1,8

Для расчетов необходимо составлять графики притока основных стоков промышленного предприятия, а также графические схемы водного баланса, показывающие количество воды, поступающей к каждому потребителю, и воды, безвозвратно теряющейся в производстве, а также направляемой в канализацию. Такие схемы могут быть составлены как в абсолютных количествах сточных вод за единицу времени, так и в удельных расходах воды на единицу продукции.

На рис. 52 приведена схема водного баланса (в удельных расходах) газогенераторного отделения азотнотукового комбината. Общий расход воды для всей газогенераторной станции составляет 52,85 м³ на 1 т аммиака, из них 48,2 м³ — производственная вода обычного качества и 4,65 м³ — вода умягченная, идущая на питание котлов. Сточные воды в газогенераторном отделении получаются в основном от газоочистки (от скрубберов) в количестве 46,2 м³/т. Эта вода после осветления в отстойниках и охлаждения на градирнях вновь используется в производстве.

Количество и режим поступления производственных сточных вод должны определяться на основании технологических исследований.

Целью технологических исследований является получение данных для проектирования новых объектов по очистке сточных вод или для модернизации существующих очистных сооружений.

Программа исследований составляется индивидуально для данного вида сточных вод. На основе результатов исследований разрабатывается схема очистки сточных вод, позволяющая получить требуемый эффект очистки при минимальных капиталовложениях и эксплуатационных расходах.

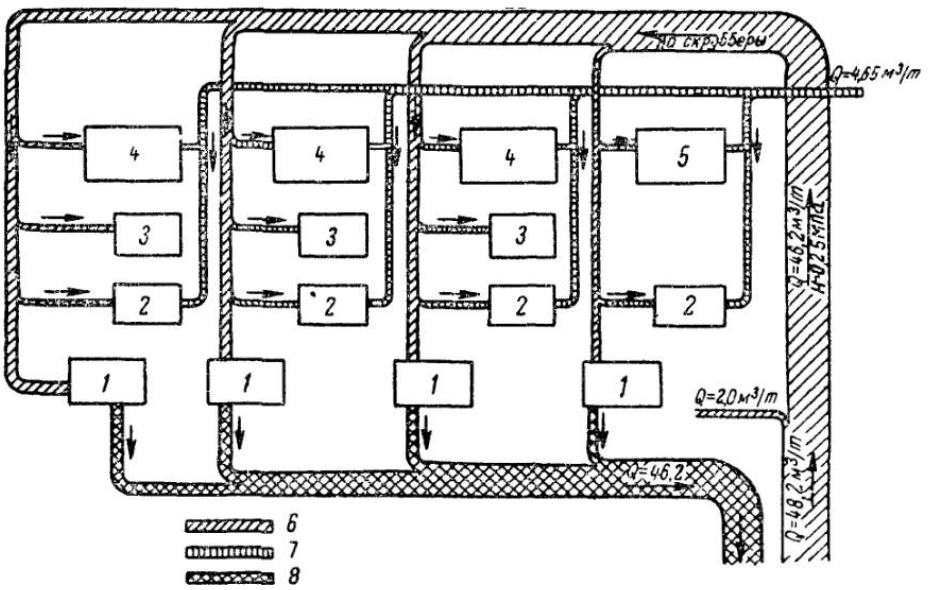


Рис 5.2 Схема водного баланса газогенераторной станции азотнотукового комбината

1 — скрубберы, *2* — котлы-утилизаторы, *3* — рекуператоры, *4* — генераторы водяного газа, *5* — генератор паровоздушного газа, *6* — осветленная вода, *7* — вода для котлов, *8* — отработанная вода

Прежде всего необходимо определить количество сточных вод, их характеристику и необходимую степень очистки. Большое значение при этом имеет правильный отбор проб сточных вод. Взятые пробы должны быть репрезентативными, т. е. они должны давать однозначное представление о свойствах сточных вод и колебаниях их состава.

В общем случае разработка каждого технологического процесса включает три этапа: первый — выбор метода очистки; второй — выбор режима процесса и третий — выбор комплекса сооружений.

Для выполнения первого этапа, кроме опытных данных, необходимы представления о механизме процессов, протекающих при очистке сточных вод.

Выбор режима очистки сточных вод осуществляется на основе варьирования и сопоставления различных факторов: физико-химических, массообменных, биохимических и др.

Третий, завершающий этап разработки промышленной очистной установки — конструктивное оформление процесса — тесно связан со вторым. Для выбора сооружения требуются дополнительные сведения, связанные с кинетикой гидродинамических процессов в аппаратах очистки сточных вод. Среди многообразия конструктивных схем аппаратов необходимо суметь достаточно обоснованно выбрать наилучший, т. е. оптимальный вариант.

§ 132. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД И ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИЗ НИХ ЦЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

При проектировании канализации промышленных предприятий прежде всего следует решить вопрос о возможности использования сточных вод (всех или частично) для тех или иных производственных целей без сброса их в водоем, а также о возможности извлечения из них ценных веществ. Возможность такого использования определяется составом сточных вод, их количеством и местными условиями.

Наиболее часто сточные воды после соответствующей их обработки используются в системе оборотного водоснабжения предприятия. Это в первую очередь относится к воде, которая в производстве только нагревается, *а не загрязняется — в необходимых случаях она должна* быть охлаждена в градирнях, брызгальных бассейнах и т. д. и вновь подана в производство.

В том случае когда вода в производстве загрязняется, но не нагревается (мокрое обогащение руды, гидрозолоудаление и др.), она используется вновь в производстве только после очистки (отстаивания).

Оборотное водоснабжение может быть применено и при нагретой и загрязненной сточной воде, если она после обработки (обычно после отстаивания и охлаждения) может быть использована вновь для тех же технологических целей. Так, например, часто применяется оборотное водоснабжение цехов газоочистки на металлургических заводах.

На рис. 5.3. показана схема использования сточных вод для оборотного водоснабжения цеха газоочистки конверторного производства.

Водное хозяйство конверторных газоочисток на большинстве отечественных заводов представляет собой замкнутый цикл водоснабжения, включающий в свой состав очистные сооружения (преимущественно радиальные отстойники), водоохлаждающие устройства и сооружения по обработке шламов.

Специфика образования сточных вод состоит в том, что стоки газоочисток работающего (плавка) и неработающего (горячий резерв) конвертеров смешиваются. Вследствие этого общий сток формируется из сильно загрязненного стока (в период продувки конвертора) и «условно чистого» стока газоочисток конверторов, находящихся в горячем резерве.

Общие расходы сточных вод от газоочисток (для цехов с тремя 100-т конверторами, из которых два поочередно находятся в работе, а третий — в резерве) составляют в среднем 400—500 м³/ч от одной газоочистки. Введение автоматического регулирования подачи воды на газоочистки на новых заводах приводит к значительной (до 30%) экономии воды и капитальных затрат на сооружениях по подаче воды в цех и на очистных сооружениях оборотного цикла.

Основными загрязнителями сточных вод конверторных газоочисток являются взвешенные вещества минерального происхождения.

Концентрация взвешенных веществ, по данным четырех заводов, *изменялась в общем стоке газоочисток от 2,5 до 18 г/л.*

По своему гранулометрическому составу взвешенные вещества состоят из очень мелких частиц — более 90% составляют частицы размером менее 50 мкм; плотность взвешенных веществ благодаря большому содержанию железа высока и изменяется от 4,5 до 5 г/см³.

Основным очистным сооружением в оборотных циклах конверторных газоочисток являются радиальные отстойники. Установлена возможность интенсификации процесса осветления сточных вод в магнитном поле.

При расчете радиальных отстойников (см. гл. XVII) рекомендуется принимать значение показателя степени n равным 0,7—0,75, а гидравлическую крупность взвешенных частиц, которые необходимо осадить в

отстойнике для получения осветленной воды с содержанием взвеси 150 мг/л, принимать равной 0,25—0,3 мм/с. При расчете по удельной нагрузке последнюю следует принимать 1—1,15 м³/ч сточной воды на 1 м² площади поверхности отстойника.

Для интенсификации процесса осветления сточных вод возможно использование полиакриламида с дозой 0,4—1 мг/л. Применение ПАА позволит повысить удельную нагрузку на радиальные отстойники до 3—4 м³/(м²·ч).

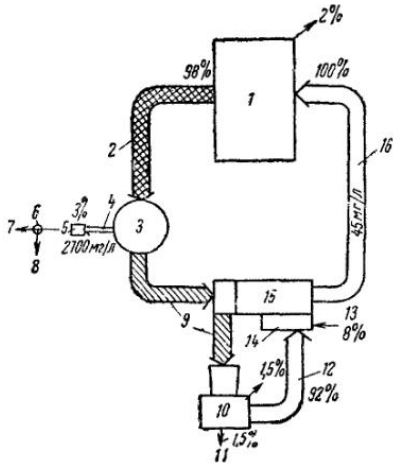


Рис. 5.3. Схема оборотного водоснабжения газоочисток конверторного производства (количество оборотной воды, %, и твердых веществ, содержащихся в оборотной воде, мг/л)

1 — газоочистка конверторов, *2* — трубопровод горячей воды, подаваемой на очистку; *3* — радиальные отстойники, *4* — осадок; *5* — шламовая насосная станция; *6* — механическое обезвоживание шлама; *7* — обезвоженный шлам, направляемый на агломерационную фабрику; *8* — возврат фильтрата в отстойники; *9*—осветленная вода, *10* — охладители (при необходимости); *11* — выпуск в канализацию; *12* — отработанная вода; *13* — подача свежей воды для восполнения потерь в системе оборотного водосиабжения; *14* — приемная камера насосной станции; *15* — насосная станция оборотной воды; *16* — вода, подаваемая на газоочистку

После отстаивания сточных вод в цикле оборотного водоснабжения конверторных цехов с тремя 100-т конверторами образуется значительное количество шламов до 70—90 т/сутки. Эти шламы являются ценным сырьем для металлургической промышленности, так как содержат до 67% железа. После обезвоживания, сушки и брикетирования они должны быть использованы в конверторном производстве.

Из возможных методов обезвоживания осадков сточных вод рациональным в настоящее время является обезвоживание на барабанных вакуум-фильтрах. При этом принимают: величину вакуума 46,7—59,9 кПа; продолжительность фильтроцикла 2,5—3,5 мин; влажность кека 26—35%. При влажности шлама, подаваемого на обезвоживание, 70—60% производительность вакуум-фильтра по сухому веществу составляет 100—200 кг/(м²·ч).

Для вакуум-фильтров рекомендуется применять капроновые фильтрационные ткани; при отсутствии капроновых возможно применять хлопчатобумажные — фильтромиткаль и фильтродиагональ.

Введение ПАА в количестве 0,01% от содержания твердой фазы в шламе позволяет в 1,5 раза увеличить производительность вакуум-фильтров при одновременном снижении влажности кека на 3—5%, а также снизить количество взвешенных частиц в фильтрате более чем в 2 раза.

Обезвоженный шлам рекомендуется направлять на агломерационную фабрику для использования его в качестве добавки к шихте; фильтрат в зависимости от требований к качеству воды направляют в систему оборотного водоснабжения или в отстойник.

Очищенные сточные воды используются в оборотном цикле на те же производственные операции, где они образовались; они могут быть использованы также и другими потребителями, которые не предъявляют особых требований к качеству воды, т. е. может быть применено так называемое последовательное использование сточных вод.

Большой экономический эффект от последовательного использования воды может быть получен, например, на нефтеперерабатывающих

Таблица 5.1

Содержание удобрительных веществ в сточных водах предприятий пищевой промышленности

Предприятия	Удобрительные вещества в г на 1 м³ сточной воды			
	азот общий	оксид кальция	фосфорный ангидрид	известь
Сахарные заводы . .	30	50	10	170
Молочные » . .	36	23	18	40
Крахмальные » .	265	486	93	76
Скотобойни и мясокомбинаты	290	142	102	160
Дрожжевые заводы .	254	480	100	—
Плодоовощные фабрики	23	129	25	—

заводах. На новых крупных атмосферно-вакуумных трубчатых установках по прямой перегонке нефти имеется целый ряд конденсаторов, которые расположены на высоких отметках. Выходящая из них вода имеет температуру 35° С, что позволяет использовать ее для охлаждения в находящихся на более низких отметках холодильниках, в которых допускается более высокий нагрев воды (до 50° С).

За счет последовательного использования воды можно значительно уменьшить ее расход (на 20—30%).

Некоторые виды производственных сточных вод могут быть применены для орошения в сельском хозяйстве. Сточные воды, имеющие минеральные загрязнения, как правило, не следует направлять на поля орошения, так как они или совсем не содержат питательных веществ, или содержат ничтожное их количество; кроме того, зачастую в них имеются вредные для почвенных бактерий вещества, разрушающие структуру почвы. Сточные воды, загрязненные преимущественно органическими веществами, могут быть приняты на поля орошения в смеси с бытовыми водами после их предварительной механической очистки.

Наиболее пригодными для орошения являются сточные воды предприятий пищевой промышленности (табл. 5.1), а также азотнотуковой и некоторых предприятий текстильной промышленности.

Нормы орошения зависят от концентрации сточных вод, климата, характера почв и вида выращиваемых культур и колеблются в широких пределах. Так, например, при орошении земель сточными водами сахарных заводов норма полива (по опыту ГДР) колеблется от 1000 (при плотных почвах) до 5000 м³/га (при водопроницаемых почвах) в год; при орошении луговых культур сточными водами пивоваренных заводов норма орошения достигает 8000 м³/(га·год).

Сточные воды некоторых предприятий небезопасны в санитарном отношении, поэтому их использование для орошения запрещается (сточные воды кожевенных заводов) или ограничивается. Например, сточные воды от скотобоен и мясокомбинатов не рекомендуется использовать для орошения пастбищ из-за опасности гельминтоза; сенокосные луга могут орошаться этими водами при условии сушки сена в теплицах. С большим успехом такие воды могут быть использованы для орошения технических культур и поливки деревьев.

Сильно концентрированные производственные сточные воды, например стоки боен и мясокомбинатов, дрожжевых и крахмальных заводов, необходимо предварительно разбавлять, а иногда и отстаивать.

Сточные воды некоторых производств, например спирто-водочных, плодоовощных, крахмальных заводов, быстро загнивают. Эти воды рекомендуется предварительно обрабатывать известью или разбавлять

чистой водой. Рекомендуется также использовать их в свежем виде, т. е. возможно скорее отводить на орошаемые поля. Распад многих органических веществ сопровождается выделением дурнопахнущих продуктов, что также ограничивает возможность использования сточных вод в целях орошения.

В некоторых производственных стоках могут содержаться вредные неорганические вещества (соли меди, хрома, олова, свинца и др.). При использовании их для орошения необходимо исключить возможность вредного влияния сточных вод на почву, грунтовую воду, выращиваемые растения и их качество, а через них — на здоровье людей. Выполнение этого требования возможно путем предварительного извлечения из производственных сточных вод ценных веществ и снижения содержания в них вредных примесей, а также путем разбавления стоков условно чистыми, бытовыми и дождевыми водами. Предельно допустимые концентрации различных веществ зависят от типа почв и вида выращиваемых культур; устанавливаются они специальными организациями сельского хозяйства. Использование производственных сточных вод на полях орошения во всех случаях должно быть согласовано с органами Государственного санитарного надзора.

В сточных водах промышленных предприятий могут содержаться вещества (нефть, жиры, химические продукты, древесное волокно, хром и др.), которые представляют большую техническую ценность, и их необходимо выделять и возвращать для использования на этих же (или других) предприятиях. Извлечение химических веществ и повторное использование воды с успехом применяется в металлургической, пищевой и особенно химической промышленности.

Очистка сточных вод целлюлозно-бумажного производства дает возможность получить спирты, ванилин, таловое масло и дрожжи и снизить содержание взвешенных веществ на 95%, БПК — на 20%, сократить общий объем сточных вод за счет повторного их использования на 60%.

При добыче угля образуются сточные воды, которые содержат большое количество угля, железа и других ценных элементов. Во многих случаях уголь, содержащий около 30% примесей карбонатов кальция и магния, используется для увеличения pH в сточной воде горнодобывающей промышленности с 3 до 7 и для снижения железа с 551 до 1 мг/л.

Некоторые производственные сточные воды, например сточные воды мокрого обугливания торфа, содержат в больших концентрациях примеси, легко усваиваемые микроорганизмами, осуществляющими биохимические процессы. Поэтому они используются в микробиологической промышленности для культивирования дрожжей. Полученная белковая масса может использоваться как ценный корм для скота и для производства различных биохимических препаратов.

Способ извлечения из сточных вод вредных примесей выбирается в соответствии с физико-химическими свойствами этих примесей и их ценностью. Размещение установок по очистке сточных вод в производственных зданиях допускается предусматривать при условии, что из сточных вод при их смешении и очистке не образуются и не выделяются вредные или дурнопахнущие пары и газы (например, меркаптаны, сероводород, цианистый водород, мышьяковистый водород) или при условии герметизации всех агрегатов установки для очистки сточных вод.

§ 133. СИСТЕМЫ И СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

При выборе системы канализации промышленных предприятий необходимо учитывать:

1) количество, состав и свойства сточных вод отдельных производственных цехов, а также режим их притока (отведения);

2) возможность уменьшения количества загрязненных производственных сточных вод предприятия путем применения рациональных технологических процессов;

3) возможность использования производственных сточных вод в системе оборотного водоснабжения или повторного их использования в других цехах, предъявляющих менее жесткие требования к качеству воды;

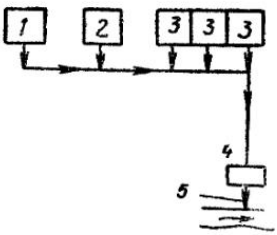


Рис. 5.4. Схема общесплавной системы канализации

1 — дождевые воды; *2* — бытовые воды; *3* — производственные воды; *4* — очистная станция; *5* — спуск в водоем

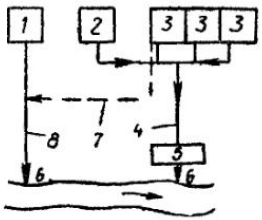


Рис. 5.5. Схема раздельной системы канализации с двумя сетями

1 — дождевые воды; *2* — бытовые воды; *3* — производственные воды; *4* — сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод; *5* — очистная станция; *6* — спуск в водоем; *7* — выпуск условно-чистых производственных вод; *8* — сеть дождевых вод

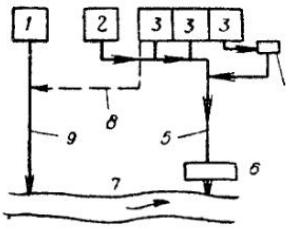


Рис. 5.6. Схема раздельной системы канализации с местными очистными установками

1 — дождевые воды; *2* — бытовые воды; *3* — производственные воды; *4* — местные очистные установки; *5* — сеть бытовых и загрязненных производственных сточных вод; *6* — очистная станция; *7* — спуск в водоем; *8* — выпуск условно чистых производственных вод; *9* — сеть дождевых вод

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

5) возможность и целесообразность совместного канализования нескольких близрасположенных промышленных предприятий и других объектов, а также возможность присоединения их к городской или районной канализации;

6) условия спуска производственных сточных вод в водоем и требуемую степень их очистки;

7) возможные способы очистки сточных вод.

По каждому варианту решения должны быть определены технико-экономические показатели.

Канализационные сети, насосные станции и сооружения для очистки цеховых стоков, размещаемые на промышленной площадке, относятся к так называемой системе внутриплощадочной канализации данного предприятия. Канализационные коллекторы, насосные станции и очистные сооружения, расположенные вне промышленной площадки, входят в систему внеплощадочной канализации и проектируются с учетом канализования комплекса промышленных предприятий и населенных мест данного района.

Отведение сточных вод с территории промышленных предприятий, как правило, осуществляется по полной раздельной системе канализации. Для некоторых предприятий при соответствующем технико-экономическом обосновании может быть принята общесплавная система канализации (рис. 5.4).

На тех предприятиях, где производственные сточные воды по своему составу и характеру загрязнений близки к бытовым водам (напри-

мер, на некоторых предприятиях пищевой промышленности), устраивают общую канализационную сеть для совместного их отведения. Дождевые воды при этом отводятся водостоками. Если имеются условно-чистые производственные воды, то они поступают в систему оборотного водоснабжения или отводятся водостоками. В этом случае раздельная система канализации имеет две сети (рис. 5.5): сеть загрязненных производственных и бытовых вод и сеть условно чистых производственных и дождевых вод. Если производственные сточные воды нельзя отводить совместно с бытовыми из-за того, что они содержат специфические загрязнения, которые могут вызвать нарушения в работе канализации, устраивают местные очистные сооружения (например, жироловушки, отстойники, шерстеуловители, нейтрализационные установки и др.), располагая их в цехах или вблизи них. Так, например, стоки от гальванических и термических цехов, содержащие кислоты, щелочи, циан, хром и т. п., могут быть направлены на местные нейтрализационные установки с выпуском очищенных стоков в сеть дождевой или производственной канализации (рис. 5.6).

Во многих случаях смешивание отдельных видов сточных вод в канализационной сети может привести к нежелательным последствиям. Поэтому нельзя, например, допускать смешивания в сети предприятия или в городской канализации: а) кислых вод со стоками, содержащими цианиды, из-за возможности образования ядовитых газов (синильной кислоты); б) сточных вод, содержащих сульфиды, с кислыми стоками (выделяется сероводород); в) вискозных сточных вод с кислыми стоками (при этом происходит коагуляция вискозы с выделением из нее сероуглерода и регенерированной целлюлозы); г) кислых стоков (серной кислоты) со стоками, содержащими известь (образуется сульфат кальция, который может выпадать в осадок и способствовать зарастанию труб).

Смешивание производственных сточных вод, содержащих большое количество механических примесей минерального происхождения или таких примесей, как масла, нефть и т. д., с бытовыми сточными водами нецелесообразно; это усложняет очистку вод и обработку выпадающего осадка, а также исключает возможность повторного использования производственных вод и содержащихся в них ценных веществ.

Поэтому в большинстве случаев на промышленных предприятиях (металлургических, нефтеперерабатывающих, химических и многих других) канализация осуществляется по полной раздельной системе (рис. 5.7) с устройством отдельных сетей для производственных, бытовых и дождевых вод. Производственные и бытовые воды поступают на очистные сооружения, а дождевая вода в зависимости от загрязнения подвергается обработке для ее использования или спуска в водоем.

Условно чистые производственные воды, как уже указывалось, следует использовать для оборотного водоснабжения.

Спуск сбросных вод из оборотных систем водоснабжения допускается только в производственную канализацию промышленного предприятия. Незагрязненные производственные сточные воды допускается спускать в дождевую канализацию.

Отвод сточных вод от душей и умывальников следует предусматривать в сеть бытовых вод или производственной канализации предприятия.

В случаях отвода и спуска производственных стоков, выделяющих газы, следует предусматривать меры против проникания газов в помещения.

В тех случаях когда загрязненные производственные сточные воды ввиду особенностей их состава нельзя отводить общей сетью, укладывают сети разного назначения (например, для отведения кислых, щелочных, шламовых и других видов сточных вод).

Схема водоснабжения и канализации завода по производству каучука без сброса сточных вод в водоем представлена на рис. 5.8. К основным техническим решениям, на базе которых создана эта схема, относятся:

1. Снижение количества производственных химически загрязненных сточных вод путем усовершенствования технологии производства и дальнейшего развития системы внутритехнологического водооборота.

2. Применение водооборота в системе охлаждения теплообменного оборудования поверхностного типа без сброса продувочных вод.

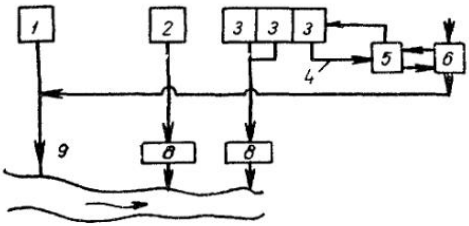


Рис. 5.7. Схема раздельной системы канализации с использованием производственных сточных вод для оборотного водоснабжения

1 — дождевые воды; *2* — бытовые воды; *3* — загрязненные производственные воды, *4* — сеть производственных сточных вод, используемых для оборотного водоснабжения; *5* — насосная станция; *6* — охладительные сооружения, *7* — добавка свежей воды; *8* — очистные сооружения; *9* — выпуски в водоем

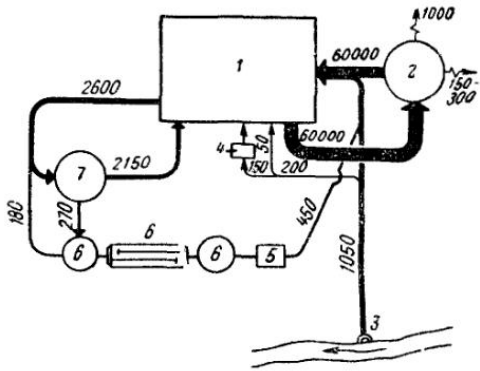


Рис. 5.8. Схема использования воды в производстве изопренового каучука (с получением изопрена из изопентана) без сброса сточных вод в водоем (цифры у трубопроводов указывают расходы воды, м³/ч)

1 — технологические установки; *2* — градирни; *3* — водозабор; *4* — цех химической очистки воды; *5* — установка дополнительной обработки сточных вод с целью подготовки их для использования в системе охлаждения оборудования поверхностного типа; *6* — сооружения биологической очистки сточных вод; *7* — установки для регенерации сточных вод

3. Использование загрязненных сточных вод после их очистки для компенсации потерь в системе охлаждения теплообменного оборудования поверхностного типа.

Усовершенствование технологии производства — основа для уменьшения количества и снижения степени вредности сточных вод.

Для технолсгических процессов, в которых используется вода с температурой 10—15° С, применяют системы водооборота с охлаждением воды на холодильных установках производительностью до 2000—3000 м³/ч. Охлаждение воды в этих системах производится на аммиачных, фреоновых, пропановых и других компрессионных холодильных установках. Системы водооборота работают без сброса воды в канализацию.

При решении схемы водооборота определяются требования к качеству сточных вод при использовании их для компенсации потерь воды в системе охлаждения теплообменного оборудования поверхностного типа, разрабатываются методы очистки сточных вод до требуемых кондиций применительно к конкретному составу сточных вод, образующихся при производстве различных видов синтетического каучука с учетом особенности работы системы водооборота без сброса продувочных вод.

Приведенная схема позволяет решить задачу прекращения спуска сточных вод в водоемы.

Для комплекса предприятий нефтехимической и химической промышленности (например, для хлорорганических производств) приме-

няют систему канализации также без спуска сточных вод в поверхностные водоемы. Эта система позволяет полностью предотвратить загрязнение поверхностных водоемов вредными химическими веществами и сократить расход свежей речной воды на предприятиях за счет возврата в производство очищенных сточных вод.

§ 134. КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ СХЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

Схемы водоснабжения и канализации промышленных предприятий и населенных мест в целях достижения наиболее экономичных и комплексных решений разрабатываются одновременно на основе проекта районной планировки и застройки по единому генеральному плану.

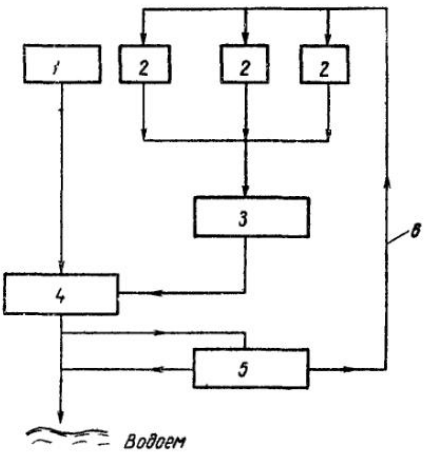


Рис. 5.9. Комплексное решение схемы очистки бытовых и производственных сточных вод

1 — населенный пункт; *2* — промышленные предприятия; *3* — групповые очистные сооружения; *4* — совместная очистка на станциях аэрации; *5* — сооружения доочистки; *6* — возврат очищенных сточных вод в систему оборотного водоснабжения

Для промышленных предприятий, расположенных в городской черте, вблизи города или поселка, в первую очередь должна быть рассмотрена возможность совместного отведения и очистки сточных вод этих предприятий и населенных мест (рис. 5.9). Канализование такого комплекса объектов, как правило, целесообразно по экономическим показателям и более надежно в санитарном отношении.

Вопрос о целесообразности присоединения к централизованной системе канализации промышленных предприятий, расположенных далеко от населенного места или друг от друга, решается путем технико-экономического сравнения вариантов централизованной и децентрализованной схемы канализации.

В ряде случаев производственные сточные воды не могут быть полностью очищены на самом предприятии, что обусловливается особенностями их состава. Очистка таких вод значительно упрощается при смешивании их с бытовыми водами, однако при содержании в производственных стоках специфических примесей спуск их в городскую канализацию может производиться только при выполнении ряда требований, обеспечивающих нормальную работу сети и очистных сооружений городской канализации.

Условия приема в городскую канализацию загрязненных производственных сточных вод устанавливаются в каждом отдельном случае Управлением городской канализации (службой эксплуатации) и местными органами Государственного санитарного надзора. Незагрязненные сточные воды принимаются в городскую канализацию в тех случаях, когда необходимо разбавление сильно концентрированных загрязненных стоков. Ограничение приема незагрязненных вод обусловлено нецелесообразностью перегружать городскую канализацию водой, которая не требует очистки и может быть использована на производстве или спущена в водосточную сеть. При наличии в производственных сточных водах только минеральных загрязнений выпуск этих вод в городскую сеть канализации также нецелесообразен, так как после мест-

ной обработки эти воды могут быть использованы в производстве или выпущены в водоем.

Выпускаемые в городскую канализацию производственные сточные воды не должны:

а) содержать грубые нерастворимые тонущие и плавающие примеси, которые могут вызывать засорение труб городской канализации;

б) оказывать разрушающего (корродирующего) действия на материал труб и элементы сооружений городской канализации;

в) содержать горючие примеси (бензин, нефть и т. п.), а также ядовитые и растворенные газообразные вещества, которые могут образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;

г) иметь температуру выше 40° С;

д) содержать опасные бактериальные загрязнения (бактерии сибирской язвы, сапа и др.), а также радиоактивные вещества, ртуть, кадмий и другие отравляющие вещества (перед выпуском в городскую канализацию такие воды должны быть обеззаражены и обезврежены).

В отдельных случаях, когда приходится решать вопрос о присоединении к городской канализации промышленного стока с большим расходом и содержанием токсичных веществ, для окончательного заключения о вредном влиянии его и условиях присоединения следует поставить серию опытов на модельных сооружениях с определением степени распада исследуемых веществ в процессе очистки.

На основании лабораторных анализов опытной и контрольной модели дается оценка токсического влияния по следующим показателям:

а) содержанию токсичных веществ производственного стока в очищенной воде;

б) изменению качественного и количественного состава индикаторных организмов активного ила и снижению прироста активного ила;

в) степени распада исследуемых компонентов производственного стока по формуле, предложенной О. Т. Болотиной:

$$X = \frac{QC_1 - \left(QC_2 + \frac{2A}{B} C_3\right) 100}{QC_1}, \qquad (5.7)$$

где X — количество распавшегося вещества, %;

Q — приток воды, м³/сутки;

C_1 — содержание исследуемого вещества в воде, поступающей на очистку, г/м³;

C_2 — содержание исследуемого вещества в очищенной воде, г/м³;

A — масса ила в сооружении, кг;

B — продолжительность обмена ила, сутки;

C_3 — концентрация исследуемого вещества в иле, г/кг.

На основании полученных показателей дается заключение о допустимых концентрациях исследуемых веществ в производственных стоках, поступающих на аэрационные сооружения, а с учетом степени разбавления — о допустимых концентрациях исследуемых компонентов в воде, отводимой в городскую канализацию.

В соответствии с предъявляемыми требованиями производственные сточные воды подвергаются предварительной обработке (усреднению по количеству и качеству, нейтрализации, механической или физико-химической очистке, обеззараживанию, разбавлению и т. п.) непосредственно на предприятиях перед спуском в городскую канализацию.

Способ обработки выбирается с учетом характерных особенностей тех примесей, которые требуется удалить. Так, например, при сбросе в городскую канализацию сточных вод кожевенных заводов для предохранения канализационной сети от засорения достаточно удалить та-

кие примеси, как мездра, шерсть и известь. В этих целях сточные воды процеживаются через решетки и отстаиваются в течение 5—15 мин.

При спуске в канализацию производственных сточных вод, содержащих сильные кислоты или щелочи в таких количествах, которые могут вызвать коррозию канализационных сооружений или отрицательно влиять на процессы последующей биологической очистки, смесь бытовых и производственных сточных вод подвергается предварительной нейтрализации путем добавок соответствующих реагентов.

В некоторых случаях может оказаться достаточным лишь выравнивание pH намечаемых к спуску в канализацию сточных вод (для предприятий или отдельных цехов, сбрасывающих сточные воды периодически с большими колебаниями pH) путем накопления их в резервуаре-усреднителе и равномерного выпуска в канализацию. Если такое выравнивание не может гарантировать постоянство pH в нужных пределах, то избыточную щелочь или кислоту следует нейтрализовать, вводя соответствующий реагент.

Для аварийного сброса кислот или щелочей на промышленных предприятиях должен предусматриваться приемный резервуар. Контроль за величиной pH сбрасываемых в канализацию сточных вод должен быть автоматизирован.

Запрещается спуск в городскую канализацию производственных вод, содержащих токсичные примеси в количествах, превышающих нормы санитарной техники или вызывающих нарушения нормального хода биохимических процессов в очистных сооружениях и водоемах. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в сточных водах, поступающих на очистные станции, колеблются в весьма широких пределах. Данные о некоторых наиболее часто встречающихся веществах приведены в табл. 5.2.

Производственные сточные воды, содержащие вредные вещества, разрешается спускать в городскую канализационную сеть при условии, если после смешения с основной массой сточных вод концентрации в них вредных веществ не превышают установленных нормами и не влияют на ход биологической очистки стоков.

Стоки, содержащие органические загрязнения в больших концентрациях, могут приниматься в канализацию, если БПК смеси этих вод со сточной водой коммунальной канализации не будет превышать допускаемых значений. Не могут быть приняты в канализацию сильно окрашенные воды (особенно при сернистом крашении), так как их окраска не устраняется даже при биологической очистке.

Для обеспечения нормальных условий работы очистных сооружений городской канализации при совместной биологической очистке бытовых и производственных сточных вод необходимо соблюдать ряд условий. Так, температура очищаемой смеси должна быть не ниже 6° С и не выше 30° С, а значение pH должно быть в пределах 6,5—8,5. Общая концентрация растворенных солей в смеси не должна превышать 10 г/л. В случаях применения обычных биологических фильтров и аэротенков $БПК_{20}$ очищаемой смеси должна быть не более 500 мг/л, а при аэротенках с рассредоточенным впуском сточной воды — не более 1000 мг/л.

Характеристика загрязнений производственных сточных вод принимается по данным лабораторных анализов, представляемых предприятиями.

Для составления комплексной схемы канализации населенных мест и промышленных предприятий необходимо иметь также данные о характеристике загрязнений дождевых вод, отводимых с территории промышленных предприятий, материалы о рельефе этой территории для проектирования сети дождевой канализации. При этом решаются вопросы совместной очистки дождевых вод и близких им по составу производственных сточных вод, рассматривается возможность организации повторного

Таблица 52

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в сточных водах и осадке, поступающих на сооружения очистных станций

Вещество	Предельно допустимые концентрации, мг/л, по СНиП		Вещество	Предельно допустимые концентрации, мг/л, по СНиП	
	при биологической очистке	при сбраживании осадка		при биологической очистке	при сбраживании осадка
Медь	0,4—0,5	25	Спирты:		
Мышьяк	0,1	—	амиловый	3	100
Никель	0,5	500	метиловый	200(700)*	5000
Свинец	0,1	50	Фенол	1000	—
Хром:			Формальдегид	25	—
трехвалентный	2,7	25	Детергенты (синтетические поверхностно-активные вещества): ОП-7 и ОП-10	10**—20***	100
шестивалентный	2,7	3	Сульфанол	10**—20***	200
Цинк	1	—	Некаль	100(160)*	100
Циан	0,1(3,2)*	30	Порошок «Новость»	100	100
Сульфиды	1	—	Красители	25—120	—
Анилин	100(250)*	—	Масла	100	—
Бензол	100	200	Уксуснокислый аммоний	500	—
Глицерин	(500)*	—	Пиридин	400	—
Капролактам	100	—	Крезол	100(1000)*	—
Кислоты:			Нефтепродукты	25	—
бензойная	150	—			
стеариновая	300	—			
масляная	500	—			

* Значения, приведенные в скобках, — по данным ВНИИ ВОДГЕО.

** При полной биологической очистке в аэротенках.

*** При неполной биологической очистке в аэротенках.

использования очищенных стоков для промышленного водоснабжения.

При проектировании очистки сточных вод предпочтение отдается групповым очистным сооружениям, на которых очищаются дождевые и производственные сточные воды от нескольких предприятий. На групповых сооружениях может быть достигнут более высокий эффект очистки, организован систематический контроль сбросов сточных вод в канализационную сеть, внедрена комплексная механизация и автоматизация технологических процессов очистки сточных вод и обработки отходов, извлекаемых из стоков, поставлены исследования по изысканию более современных методов очистки сточных вод и нового оборудования.

§ 135. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И РАСЧЕТА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

При проектировании и строительстве канализационной сети промышленных предприятий необходимо учитывать влияние, которое могут оказывать производственные сточные воды на материал сети и других сооружений, а также на работу канализационной сети.

Сточные воды могут вызывать: коррозионное разрушение материала труб, лотков, колодцев, стыков и других элементов; уменьшение пропускной способности труб вследствие их засорения или отложения осадка на

их дне и на стенках; образование взрывоопасных газов и распространение их по трубам, что может вызвать возникновение пожара; образование газов и других веществ, вредных для здоровья обслуживающего персонала.

Защита от коррозии осуществляется различными способами, в том числе изоляцией химически устойчивыми материалами (футеровкой, битумами, эпоксидной смолой), а также путем применения специальных бетонов, не разрушающихся от действия агрессивных вод.

Для предохранения внутризаводской канализационной сети от засорения устанавливают решетки и отстойники вблизи мест выпуска производственных сточных вод из цехов. В целях удобства чистки внутрицеховые водоотводные каналы устраиваются с перекрытиями из съемных щитов.

Во избежание образования и отложения осадка в трубах при взаимодействии цеховых стоков последние следует отводить по отдельным трубам и каналам.

Количество специальных сетей производственной канализации на промышленной площадке определяется исходя из состава отдельных категорий сточных вод, их расхода и температуры, необходимости локальной очистки и возможности повторного использования воды. Отдельные сети, как правило, предусматривают для транспортирования сточных вод, направляемых на локальные сооружения для очистки и утилизации, а также для сточных вод, содержащих агрессивные, токсичные, взрывоопасные или легковоспламеняющиеся вещества, и вод, подлежащих биологической очистке, незагрязненных, используемых в системах оборотного водоснабжения.

На промышленных площадках допускается прокладка канализационных трубопроводов в открытых и закрытых каналах, лотках, тоннелях и по эстакадам. При укладке в землю трубопроводов глубину заложения их рекомендуется принимать не более 4 м. Расстояние от трубопроводов, по которым отводятся сточные воды, содержащие агрессивные, летучие токсичные и взрывоопасные вещества (с плотностью газов и паров менее 0,8 кг/м^3), до наружной стенки проходных тоннелей следует принимать не менее 3 м, а до подвальных помещений — не менее 6 м.

При проектировании запорных, ревизионных и соединительных устройств на трубопроводах для сточных вод, содержащих летучие токсичные и взрывоопасные вещества, следует учитывать необходимость обеспечения повышенной герметичности.

Для транспортирования агрессивных производственных сточных вод в зависимости от их состава и концентрации, а также температуры следует применять керамические трубы первого сорта с глазурованной поверхностью, асбестоцементные, фаолитовые, винипластовые, фторопластовые и стеклопластиковые трубы (заводы-изготовители Министерства химической промышленности СССР), а также трубы из нержавеющей стали, стальные, футерованные резиной или пластиками, и чугунные асфальтированные трубы. Возможно применение полиэтиленовых труб, выпускаемых диаметром 16—400 мм на рабочее давление до 1 МПа (заводы-изготовители Министерства химической промышленности СССР).

Для транспортирования неагрессивных производственных сточных вод Союзводоканалпроектом предусмотрено использование железобетонных напорных труб диаметром 500—1600 мм, изготовляемых способом виброгидропрессования.

Стальные трубы диаметром 200—2500 мм применяют с нанесенными покрытиями из пластмасс, стеклоэмалей и полимерцементов (изготовляются Харцизским трубным заводом) на внутренние и наружные поверхности. Полимержелезобетонные трубы диаметром 200—1600 мм будут применяться на рабочее давление 1 МПа (изготовляются Енакиев-

ским заводом). Керамические напорные трубы диаметром 150—200 мм могут применяться на рабочее давление 0,5 МПа (заводы-изготовители Министерства промышленности строительных материалов СССР).

Полиэтиленовые и футерованные резиной трубы могут применяться при температуре сточных вод не выше 60° С, винипластовые — не выше 50° С, а чугунные асфальтированные — не выше 60° С.

Открытая прокладка стальных, футерованных резиной, труб в районах с температурами ниже минус 10° С не допускается.

Прокладку стальных футерованных труб с фланцевыми соединениями следует проектировать в каналах или по эстакадам. Для стальных футерованных, полиэтиленовых и фаолитовых труб при прокладке их по эстакадам должно устраиваться сплошное основание.

Заделка стыков раструбных труб, предназначенных для отвода кислых сточных вод, осуществляется с конопаткой асбестовым шнуром с битумным, андезитовым или арзамитовым замком.

Для трубопроводов с жесткими андезитовыми или арзамитовыми стыками следует проектировать основание, исключающее возможность просадки. Применение битумных замков не допускается при температуре сточных вод выше 60° С и при наличии в них органических растворителей.

Лотки смотровых колодцев для кислых сточных вод следует проектировать из кислотоупорных материалов.

При малой агрессивности стоков и газов для устройства смотровых колодцев применяются готовые кольца из кислотоупорного бетона, а также железобетонные люки и крышки. Металлические крышки люков и ходовые скобы следует покрывать асфальтовым лаком или другими кислотостойкими материалами.

Вопрос о необходимости вентиляции канализационной сети на промышленных предприятиях в каждом случае (в зависимости от состава сточных вод) решается совместно с органами Государственного санитарного надзора.

При наличии вредных газов в наружной сети производственной канализации вентиляция ее производится через стояки из первого (верхнего) промежуточного колодца. Стояки располагаются не более чем через 200 м один от другого и выводятся на 2 м выше конька крыши наиболее высокого близрасположенного здания. Диаметр стояков 200 мм, присоединяются они к верхней части колодца трубами, укладываемыми с уклоном в сторону колодца. При необходимости предусматривают искусственную вытяжную вентиляцию.

Если выделяющиеся из сточных вод газы могут вызвать усиленную коррозию металла, то предусматривается защита вентиляционных установок соответствующими покрытиями либо изготовление их из некорродирующих материалов.

Иногда канализационные трубы укладывают вместе с другими в проходные туннели, последние должны быть оборудованы естественной вытяжной вентиляцией через специальные шахты. В тех случаях когда в сточных водах присутствуют сероводород, сероуглерод и другие вредные и образующие взрывоопасные смеси газы, кроме постоянно действующей естественной вентиляции проходных канализационных туннелей должна предусматриваться приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением. При наличии в сети взрывоопасных газов должны применяться конструкции вентиляционных установок, исключающие возможность появления при их работе искр.

При агрессивных водах каналы выполняют из кислотоупорных материалов или из обычных материалов с футеровкой кислотоупорными плитками или кирпичом. При проектировании таких каналов следует учитывать, что кислая среда может периодически сменяться щелочной; это исключает возможность применения вяжущих материалов на анде-

зитовой основе, и кладку каналов рекомендуется вести с расшивкой швов и последующим заполнением их арзамитовой замазкой.

Присоединение самотечных трубопроводов внутренней канализации к наружным сетям, по которым отводятся производственные стоки, содержащие вредные газы и легковоспламеняющиеся жидкости, производится с устройством гидравлических затворов на выпусках из цехов. Гидравлический затвор выполняется в виде колодца с неполной перегородкой или концом трубы, погруженным ниже уровня жидкости на глубину не менее 10 см. Один из типов таких колодцев, применяемых на предприятиях нефтяной промышленности, показан на рис. 5.10.

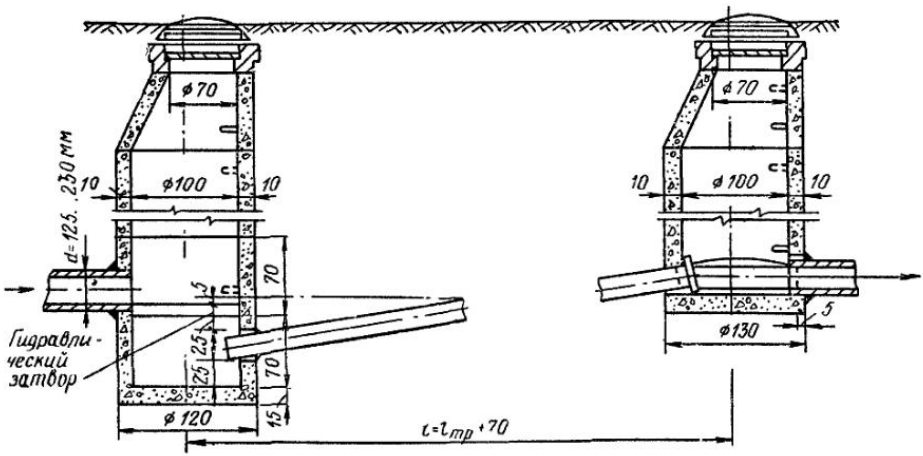


Рис. 5.10. Канализационные колодцы с гидравлическим затвором (размеры колодца, см)

Для локализации взрывов и сопровождающего их пламени в трубах сифоны устанавливают на прямых участках канализационной сети через каждые 250 м.

Прокладка канализационной сети на территории промышленных предприятий в связи с наличием на ней большого количества подземных и наземных сооружений иногда представляет собой весьма сложную задачу. Чаще всего канализационную сеть укладывают вдоль проездов на определенном расстоянии от оси дороги, учитывая при этом расположение подземных сетей другого назначения.

Расстояние в плане между канализационными трубами и параллельно расположенными зданиями и сооружениями, а также между другими сетями внутри промышленной площадки следует назначать в зависимости от конструкции фундаментов зданий и глубины их заложения, от типа дорог, диаметра труб и их материала, а также от назначения сетей и глубины их заложения.

Инженерные сети (канализация, водопровод, водостоки, дренаж и др.) надлежит проектировать как единое подземное комплексное хозяйство с учетом общего планировочного решения промышленной площадки и взаимной увязки сетей. В целях более рационального размещения всех подземных сооружений составляют совмещенный план коммуникаций и сетей.

На трубопроводах сточных вод, содержащих нерастворенные легкие или тяжелые горючие жидкости, следует устраивать улавливающие камеры (ловушки). Конструкция ловушек должна предусматривать возможность периодической откачки горючих жидкостей в специальные стационарные или передвижные емкости. При устройстве ловушек закрытого типа и возможности выделения из сточных вод взрывоопасных или токсичных паров и газов ловушки должны быть обеспечены вытяжной вентиляцией.

На всех выпусках из зданий для сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся, горючие и взрывоопасные вещества, должны предусматриваться колодцы с гидравлическим затвором

Отведение дождевых вод с площадок открытого резервуарного хранения горючих, легковоспламеняющихся и токсичных жидкостей, кислот, щелочей, не связанных с регулярным сбросом загрязненных сточных вод, должно осуществляться через распределительный колодец с задвижками, позволяющими направлять воду при нормальных условиях в систему дождевой канализации, а при появлении течи в резервуарах-хранилищах — в технологические аварийные приемники, входящие в состав складского хозяйства.

На предприятиях, где территория промышленной площадки может загрязняться вредными веществами, дождевые и талые воды должны направляться в пруд-накопитель и подвергаться соответствующей очистке. Вместимость прудов-накопителей рекомендуется рассчитывать на прием талых вод 20% обеспеченности. Для предохранения прудов-накопителей от переполнения необходимо предусматривать аварийный выпуск.

На предприятиях, сточные воды которых содержат бензин, при эксплуатации сети следует особенно строго соблюдать правила техники безопасности.

При эксплуатационных и ремонтно-строительных работах, а также при осмотре канализационных колодцев или бензиноловушек необходимо убедиться в отсутствии в воздушной среде паров бензина переносными газоанализаторами УГ-2 для малых концентраций (от 0 до 5 мг/л) и ПГФ2М1-ИЗГ для больших концентраций (от 2,5 до 80 мг/л).

Допустимая концентрация паров бензина в воздухе закрытых помещений, согласно СН 245-71, должна быть не более 0,3 мг/л (нижний предел взрываемости, по данным ВНИИЖа,—40 мг/л).

Тяжелые газы и пары легковоспламеняющейся жидкости, скопившиеся в колодце или сооружении, следует удалять вентиляторами с ручным или электрическим приводом. Работать в колодце, даже после проветривания, с фонарями, имеющими открытое пламя, зажигать спички и курить запрещается. Следует пользоваться аккумуляторными светильниками во взрывозащитном исполнении и с напряжением не выше 12 В.

Гидравлический расчет канализационной сети и коллекторов производится исходя из расхода производственных сточных вод при полном развитии промышленного предприятия. При этом следует учитывать возможность форсированного режима работы технологических установок предприятия. Условия работы сети должны проверяться на расходы воды по очередям строительства канализуемых объектов.

При расчете самотечных и напорных канализационных сетей пользуются теми же формулами, что и для бытовых вод. Величина расчетной скорости протока в трубах и каналах принимается в зависимости от количества и свойств нерастворенных примесей, находящихся в сточных водах, а также от диаметра труб (или каналов). Так, например, для сточных вод, содержащих такие примеси, как нефть, жиры и т. п., расчетную скорость принимают равной 0,8—0,9 м/с, а для сточных вод, содержащих тяжелые механические примеси (шлам, легкую окалину, колошниковую пыль), — 1,25—1,6 м/с.

Уклоны труб и каналов производственной канализационной сети принимаются исходя из условия обеспечения заданных скоростей протока. Безрасчетным внутрицеховым логкам и трубам диаметром более 100 мм обычно придается уклон 0,005, при стоках, содержащих значительные количества механических примесей, минимальные уклоны увеличиваются до 0,01. Значительно бо́льшие уклоны принимаются при проектировании канализационных линий для отведения сточных вод, содержащих

тяжелые примеси. Так, например, каналы для отвода сточных вод (до отстаивания), содержащих окалину от блюмингов, имеют уклон 0,05—0,07, а для сточных вод, содержащих окалину от рельсобалочного стана, — 0,04—0,05; каналы для гидрозолоудаления имеют уклон от 0,006 до 0,015, а каналы для гидравлического транспортирования шлака при его грануляции — не менее 0,015; трубопроводы для отвода сточных вод от газоочистки укладываются с уклоном 0,005—0,006, а для шламовых вод — с уклоном 0,01 (при $d=150$ мм) и 0,008 (при $d=300$ м); уклон труб большого диаметра определяется расчетом.

Внутрицеховые лотки и трубопроводы должны обеспечить пропуск максимальных секундных расходов воды при принятых уклонах и наполнениях, равных не более 70% площади сечений.

Полное наполнение труб диаметром до 300 мм включительно допускается при пропуске душевых и банно-прачечных сточных вод или при кратковременных сбросах производственных сточных вод, а также при отведении дождевых вод.

§ 136. НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Насосные станции для перекачки производственных сточных вод в зависимости от состава последних могут проектироваться отдельно стоящими или в блоке с производственными помещениями.

В производственных помещениях допускается установка насосов для перекачки сточных вод, не выделяющих вредные газы и пары. В этих же помещениях допускается при периодической работе насосов и наличии постоянно действующей вентиляции размещение приемных резервуаров.

Для перекачки производственных сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся, взрывоопасные и летучие токсичные вещества, следует проектировать, как правило, отдельно стоящие насосные станции с отдельно расположенными приемными разервуарами и предусматривать максимальную автоматизацию их работы.

Для перекачки агрессивных сточных вод проектируются, как правило, отдельно стоящие насосные станции с двумя приемными резервуарами, которые должны быть доступны для наружного осмотра и проведения профилактического ремонта (рис. 5.11).

Иногда допускается блокировка насосных станций для перекачки агрессивных сточных вод с производственными помещениями

Всасывающие трубопроводы агрессивных производственных сточных вод рекомендуется укладывать в каналах.

Постоянно действующие станции перекачки производственных сточных вод должны обеспечиваться двойным питанием электроэнергией или иметь резервные насосные агрегаты с тепловыми двигателями, если установка их допускается по условиям техники безопасности. Число напорных трубопроводов от насосных станций в этих случаях должно быть не менее двух; каждый из них рассчитан на пропуск всего количества сточных вод.

В случае когда обеспечение насосных станций двойным питанием электроэнергией невозможно, допускается устройство аварийных выпусков из приемных резервуаров насосных станций. Аварийные выпуски сточных вод, содержащих вредные для водоемов загрязнения, допускаются только в специально предусматриваемые емкости и при условии последующего возврата сточных вод на насосную станцию. Объем емкостей должен приниматься достаточным для приема сточных вод на время ликвидации аварии и рассчитываться по аварийному графику работы предприятий, устанавливаемому отраслевыми нормами проектирования. Место расположения емкостей согласовывается с санитарно-эпидемиологической службой.

Здания насосных станций для перекачки производственных сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся взрывоопасные вещества, должны быть не ниже второй степени огнестойкости.

Емкость приемных резервуаров производственных сточных вод с целью предотвращения осаждения в них взвешенных веществ должна приниматься минимальной и не превышать 10% среднечасового притока сточных вод.

В резервуарах для приема сточных вод, смешение которых может вызвать образование вредных газов, а также выпадение осадков, надлежит предусматривать самостоятельные секции для каждого вида сточных вод. В тех случаях когда смешение сточных вод обусловливается

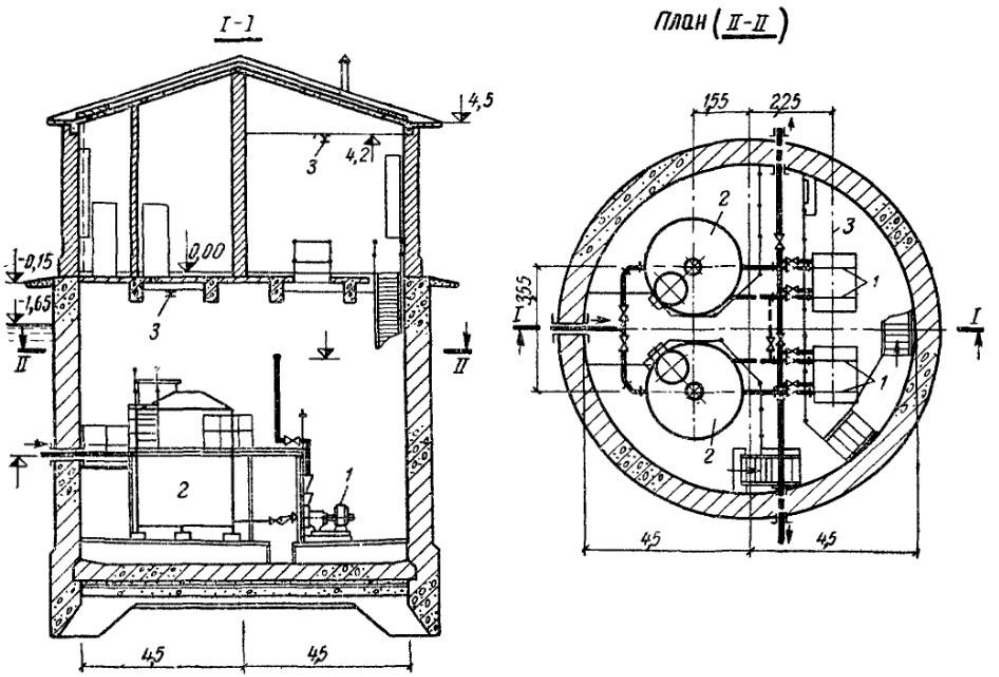


Рис. 5.11. Насосная станция для перекачки производственных кислых сточных вод пропускной способностью 30—110 м³/ч

1 — центробежные химические насосы с электродвигателями серии АО2; *2* — приемные металлические резервуары вместимостью 20 м³; *3* — тали ручные грузоподъемностью 0,5 т

технологическим процессом их очистки, в резервуарах следует предусматривать побудительную вентиляцию, а также устройства для предотвращения выпадения осадка и для его удаления.

В приемных резервуарах для производственных сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся, взрывоопасные и летучие токсичные вещества, при необходимости рекомендуется ограничиваться установкой предохранительных решеток.

Закрытые приемные резервуары производственных сточных вод, содержащих взрывоопасные вещества, должны выступать над поверхностью земли на 15—20 см и по периметру иметь ограждения высотой 1,2 м. В перекрытиях резервуаров следует предусматривать герметические люки и дыхательные трубы с огнезадерживающими устройствами.

Расстояния от наружной грани приемных резервуаров производственных сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся и взрывоопасные летучие токсичные вещества, должны быть не менее 10 м до отдельно стоящих зданий насосных станций или производственных по-

мещений, в которых размещаются насосы для перекачки этих вод; не менее 20 м — до прочих производственных зданий; не менее 100 м — до общественных зданий.

Конструкции приемных резервуаров агрессивных или содержащих токсичные вещества сточных вод должны исключать фильтрацию в грунт. При агрессивных сточных водах следует предусматривать также антикоррозионную защиту резервуаров.

В заглубленных (более одного метра) машинных отделениях насосных станций для перекачки производственных сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся, взрывоопасные и летучие токсичные вещества, должны предусматриваться эвакуационные выходы:

при площади до 36 м² — одна закрытая лестничная клетка;

при площади до 100 м² — одна закрытая лестничная клетка и одна вертикальная шахта со стремянкой;

при площади более 100 м² — две закрытые лестничные клетки.

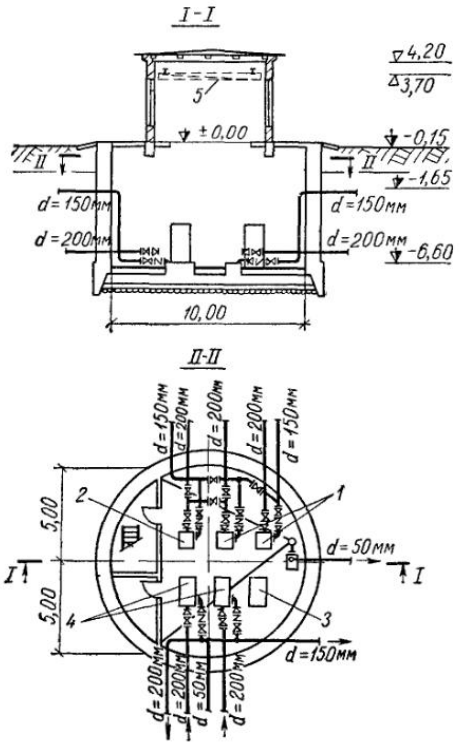


Рис. 5.12. Насосная станция для перекачки нефтепродуктов и осадка с оборудованием во взрывобезопасном исполнении ВЗГ

1 — центробежный насос 5НКЭ-5×1 с электродвигателем ВАОФ-81-2; *2* — центробежный насос 4НКЭ-5×1 с электродвигателем ВАОФ-62-2, *3* — вихревой насос ВК 2/26 с электродвигателем ВАО-42-4; *4* — центробежный насос 5Ф-6 с электродвигателем ВАО 81-4; *5* — кран ручной подвесной однобалочный грузоподъемностью 1 т и таль ручная червячная передвижная грузоподъемностью 1 т

В машинных отделениях насосных станций перекачки агрессивных сточных вод необходимо предусматривать антикоррозионную защиту конструкций (полов, фундаментов и др.).

При соответствующем обосновании допускается размещение насосов для перекачки производственных и бытовых сточных вод в общем машинном зале. В таких случаях здание насосной станции должно быть отдельно стоящим. Приемные резервуары должны иметь отдельные отсеки.

Насосы и оборудование, устанавливаемые в насосных станциях для перекачки производственных сточных вод, должны выбираться в зависимости от физико-химических свойств последних (агрессивности, температуры, плотности, механических загрязнений и их абразивности, вязкости и т. п.).

Определение количества рабочих насосов следует производить по расчетному притоку сточных вод. Кроме рабочих насосов должны быть резервные насосы: при одном рабочем — один резервный, при двух и более рабочих — не менее двух резервных.

Все трубопроводы и арматура в насосных станциях перекачки агрессивных сточных вод или сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся, взрывоопасные и летучие токсичные вещества, должны быть легко доступными для осмотра и ремонта. Количество запорной арматуры должно быть минимальным. Запрещается устройство подпольных каналов в насосных станциях, если плотность паров и газов, содержащихся в таких сточных водах, более 0,8 г/см³.

Для каждого насоса должны быть предусмотрены самостоятельные всасывающие и, по возможности, напорные трубопроводы.

Минимальные скорости движения сточных вод или осадков во всасывающих и напорных трубопроводах, исключающие осаждение взвешенных веществ, следует принимать по отраслевым нормам проектирования.

Для транспортирования химически агрессивных сточных вод следует применять трубы из коррозионностойких материалов, а также стальные, футерованные резиной или пластиками.

Насосы для перекачки шламов должны устанавливаться только под заливом.

В насосных станциях для перекачки шламов должна предусматриваться промывка всасывающих и напорных трубопроводов. Для промывки рекомендуется использовать воду от технических водопроводов или, при возможности, очищенные сточные воды.

В приямки всасывающих труб насосов должна быть предусмотрена подача воды.

В насосных станциях перекачки производственных сточных вод, содержащих легковоспламеняющиеся, взрывоопасные вещества, следует устанавливать взрывобезопасные электродвигатели, пусковые устройства и приборы электроосвещения в соответствии с правилами устройства электроустановок и классификацией помещений по отраслевым нормам. В таких станциях установка тепловых двигателей запрещается.

На рис. 5.12 представлена насосная станция для перекачки нефтепродуктов и осадка. Производительность насосной станции по нефтепродуктам 50—70 м³/ч, по осадку 65—80 м³/ч. В насосной устанавливаются электродвигатели во взрывобезопасном исполнении. Система отопления и вентиляции запроектирована воздушная, теплоносителем является перегретая вода или пар. Для монтажа оборудования предусмотрены кран ручной подвесной однобалочный во взрывобезопасном исполнении и таль ручная передвижная.

Глава XXVI

ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

§ 137. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

Для очистки производственных сточных вод применяют в зависимости от состава их загрязнений методы механической, химической, физико-химической и биологической очистки.

Механическая очистка—процеживание, отстаивание и фильтрация—применяется для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных и органических примесей. Процесс полного осветления сточной воды завершается фильтрованием — пропуском воды через слой зернистого материала (песка, антрацита, керамзита и горелых пород) с частицами различной крупности. Преимущество этих процессов заключается в возможности применения их при нормальной температуре и без добавления химических реагентов. Эта очистка, как правило, является предварительным, реже — окончательным способом обработки производственных сточных вод.

Химическая очистка применяется в тех случаях, когда выделение загрязнений из сточных вод возможно только в результате химических реакций между этими загрязнениями и вводимыми в очищаемые воды реагентами. При этом происходит окисление и восстановление растворенных в воде примесей с получением нетоксичных или малотоксичных

продуктов; превращение в нерастворимые в воде соединения; нейтрализация кислот и щелочей. Химическая очистка сточной воды, содержащей растворенные и коллоидные органические примеси, может осуществляться с помощью озона, действие которого основано на его высокой окислительной способности. К химическим методам очистки сточных вод относятся также электрохимическая очистка, заключающаяся либо в разрушении содержащихся в сточных водах и отработанных растворах вредных примесей путем их электрохимического окисления на аноде, либо в регенерации ценных веществ (меди, железа и др.), которые могут быть возвращены в производство. Нередко обе задачи решаются одновременно.

Физико-химическая очистка сточных вод основана на применении ряда процессов: коагуляции, сорбции, экстракции, эвапорации, флотации, ионного обмена, кристаллизации, диализа, дезактивации, дезодорации и обессоливания.

Коагуляция — осветление и обесцвечивание сточных вод с использованием реагентов (коагулянтов и флокулянтов), вызывающих превращение взвешенных и коллоидных веществ в хлопья с увеличением размера частиц, которые при осаждении (отстаивании) увлекают нерастворимые тонкодисперсные вещества в осадок.

Сорбция — выделение из сточной воды растворенных в ней органических веществ и газов путем концентрации их на поверхности твердого тела (адсорбция), либо путем поглощения вещества из раствора или смеси газов твердыми телами или жидкостями (абсорбция), или, наконец, путем химического взаимодействия растворенных веществ с твердым телом (хемосорбция).

Экстракция — выделение растворенных органических примесей, находящихся в сточных водах, путем обработки последних каким-либо не смешивающимся с водой растворителем — экстрагентом, в котором примеси, загрязняющие воду, растворяются лучше, чем в воде (например, количество растворенного фенола в бутилацетате в 12 раз больше, чем в воде).

Эвапорация — отгонка с водяным паром загрязняющих сточную воду растворенных веществ (например, летучего фенола из сточных вод коксохимических заводов).

Флотация — выделение из сточных вод примесей путем придания им плавучести за счет флотореагента, обволакивающего частички примесей и удаляемого из воды вместе с ними. При флотационной очистке применяют насыщение сточной воды пузырьками мелкодиспергированного воздуха. Частицы, содержащиеся в сточной воде (эмульгированная нефть, целлюлозно-бумажное волокно, шерсть и др.), прилипают к пузырькам воздуха и всплывают вместе с ними на поверхность воды, а затем удаляются из воды.

Ионный обмен — извлечение из водных растворов различных катионов и анионов при помощи ионитов — твердых природных или искусственных материалов, практически нерастворимых в воде и в органических растворителях, или искусственных смол, способных к ионному обмену. Ионообменная очистка позволяет в ряде случаев утилизировать ценные компоненты сточных вод и обеспечить высокую степень их деминерализации.

Кристаллизация — очистка загрязненных стоков путем выделения загрязнений в виде кристаллов.

Диализ — разделение истинно растворенных веществ и коллоидов с помощью специальных мелкопористых перегородок, не пропускающих коллоиды.

Дезактивация производственных сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, производится путем их выдерживания перед спуском в водоем (при загрязнении короткоживущими изотопами) или путем

Таблица 5.3

Основные технико-экономические показатели различных методов очистки производственных сточных вод

Методы очистки производственных сточных вод	Технико-экономические показатели, руб.		
	удельные капитальные затраты на 1 м³ годового стока	себестоимость очистки 1 м³ сточных вод	приведенные затраты (E=0,12)
Биологическая очистка:			
а) совместно с бытовыми стоками	0,42—0,73	0,05—0,12	0,1—0,21
б) при разбавлении условно чистыми стоками	0,42—2	0,09—1,2	0,14—1,44
в) при разбавлении речной водой . .	0,42—2,3	0,1—1,45	0,15—1,73
Адсорбционная очистка с нейтрализацией стоков	1,5—2,75	0,65—1,46	0,83—1,79
Нейтрализация . . .	0,08—0,2	0,35—0,65	0,36—0,67
Электрохимическая очистка	1,94—5,56	0,41—2,53	0,64—3,6
Сжигание	4,6—9,5	0,76—6,3	1,31—7,44
Закачка в подземные горизонты	0,99—11,51	0,16—1	0,28—2,38
Отвод в накопители .	0,18—0,79	0,02—0,12	0,04—0,22

удаления из сточных вод взвешенных и растворенных радиоактивных веществ с долгоживущими изотопами.

Дезодорация — устранение запахов путем аэрирования, хлорирования и озонирования.

Обессоливание производственных сточных вод производится выпариванием, вымораживанием, ионным обменом и обратным осмосом.

Наряду с методами физико-химической очистки сточных вод представляет интерес кристаллогидратный метод деминерализации.

Кристаллогидратный процесс состоит в контактировании сточной воды с гидратообразующим агентом М (пропан, хлор, фреоны, CO_2 и др.) и образовании твердого кристаллического вещества — кристаллогидратов, имеющих формулу $M \cdot nH_2O$.

При кристаллогидратной очистке сточной воды не требуется больших энергетических и капитальных затрат, отсутствует возможность образования накипи вследствие невысоких температур процесса, близких к температуре окружающей среды, меньше коррозия.

Перечисленные методы физико-химической очистки производственных сточных вод во многих случаях предусматривают извлечение из них ценных веществ и поэтому относятся к так называемым регенерационным методам. Эти методы применяются, как правило, для наиболее концентрированных сточных вод.

Прибыль от реализации регенерированных веществ позволяет частично или полностью компенсировать расходы на обезвреживание сточных вод. Так, прибыль от утилизации полимеров из стоков производств вспенивающегося полистирола и поливинилхлорида превышает все затраты на очистку стоков.

При других методах очистки, называемых деструктивными, загрязняющие воды вещества подвергаются разрушению (преимущественно

путем окисления и реже восстановления); образующиеся при этом продукты удаляются из воды в виде газов или осадков.

Деструктивные методы применяются для сточных вод с органическими примесями, не представляющими технической ценности, или в качестве доочистки после регенерационных методов. Основным из деструктивных методов является метод биологического окисления в аэробных или анаэробных условиях. Очищенные по этому методу производственные сточные воды отвечают санитарно-гигиеническим и рыбохозяйственным нормативам и могут быть спущены в водоем; нередко они могут быть использованы повторно на технологические нужды. Затраты на биологическую очистку зависят от состава стоков, они минимальны при очистке производственных стоков совместно с бытовыми и при небольшом разбавлении условно чистыми стоками. При большом разбавлении их речной водой затраты на биологическую очистку могут быть выше, чем по другим методам, как это видно из табл. 5.3.

При совместной биологической очистке производственных и бытовых сточных вод предварительная механическая их очистка может производиться как совместно, так и раздельно.

Раздельная предварительная очистка обязательна, если производственные сточные воды загрязнены минеральными веществами или должны быть подвергнуты физико-химической очистке.

Сооружения для раздельной механической очистки производственных и бытовых сточных вод проектируют в соответствии с действующими «Указаниями по проектированию наружной канализации промышленных предприятий». При этом следует учитывать непостоянство концентрации и расхода производственных стоков и предусматривать процесс усреднения.

Совместная механическая очистка целесообразна в тех случаях, когда производственные сточные воды загрязнены в основном органическими веществами, поддающимися биохимическому окислению, и не требуют специальной предварительной обработки, а также в случаях незначительного количества производственных вод, когда разбавление их бытовыми водами исключает возможность нарушения биологического процесса очистки.

Когда биологическая очистка не удовлетворяет повышенным санитарным и рыбохозяйственным требованиям, применяется дополнительная обработка сточных вод. В этих случаях они подвергаются глубокой очистке одним из следующих процессов: фильтрации, адсорбции, озонированию, флотации или их комплексному применению.

Эффективность очистки производственных сточных вод различными методами приведена в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Эффективность очистки производственных сточных вод

Методы очистки	Эффективность очистки, %		Методы очистки	Эффективность очистки, %	
	по взвешенным веществам	по БПК		по взвешенным веществам	по БПК
Механические . .	50—90	30—35	Физико-химические	90	50—75
Химические . . .	80—90	0—40	Биологические . .	95	90—95

Адсорбционная очистка применяется чаще на локальных очистных сооружениях. Этот метод является экономически эффективным при условии небольшого расхода активированного угля на 1 м³ стоков и при утилизации ценных веществ, реализация которых позволяет компенсировать часть затрат.

Электрохимический метод применяется на локальных очистных соо-

ружениях и требует больших расходов электроэнергии. Его применение целесообразно при извлечении ценных веществ, а также на предприятиях, имеющих свои электростанции или получающих электроэнергию по низкому тарифу.

Производственные сточные воды, не поддающиеся очистке перечисленными выше методами, или если эти методы неприменимы по технико-экономическим показателям, подвергаются выпариванию, сжиганию или закачке в глубокие поглощающие пласты.

Выпаривание отработанных растворов чаще всего применяют при получении товарной продукции (например, в калийной и содовой промышленности) или для уменьшения объема вредных веществ (например, радиоактивных продуктов ядерного расщепления, получающихся на установках атомной энергии), а также для обессоливания воды.

Сжигание применяется для ликвидации особенно вредных сточных вод, не поддающихся очистке, и требует больших капитальных и эксплуатационных затрат. Этот метод эффективен при содержании в стоках большого количества органических веществ и их высокой температуре, что позволяет снизить расходы на топливо.

В настоящее время широкое применение находит закачка в подземные горизонты наиболее загрязненных стоков химических производств. Закачка особенно целесообразна, если обеспечивается высокая поглощаемость скважин, а также при близком расположении скважин от химического предприятия.

Отвод стоков в накопители в большинстве случаев не обеспечивает требуемой охраны водных ресурсов из-за фильтрации стоков в подземные горизонты и загрязнения открытых водоемов при опорожнении накопителей. Поэтому строительство накопителей необходимо ограничить.

Выбор того или иного метода очистки производственных сточных вод обусловливается их количественной и качественной характеристикой и местными условиями. Во всех случаях следует выбирать наиболее простые в эксплуатации и экономичные процессы очистки сточных вод, позволяющие извлекать ценные вещества и использовать очищенные сточные воды для технического водоснабжения.

В процессе очистки производственных сточных вод образуется значительное количество осадка, имеющего в некоторых случаях определенную ценность.

До настоящего времени как в СССР, так и за рубежом осадок часто обезвоживается путем естественной сушки на иловых площадках либо складируется в шламонакопителях. При этом задалживаются большие площади вблизи промышленных предприятий. Некоторые предприятия ограничены площадями для строительства иловых площадок и шламонакопителей и не могут применять эти способы. Поэтому необходимо механическое обезвоживание осадка сточных вод с применением вакуум-фильтров, вибросит, фильтр-прессов и центрифуг.

После обезвоживания осадков их используют в производстве (металлургические шламы) или при очистке сточных вод в качестве фильтрующего материала (*шлаки*), в качестве *реагента при нейтрализации* или коагуляции сточных вод. Стабилизированный органический осадок используют для удобрения сельскохозяйственных угодий.

Для органического осадка производственных сточных вод, который не может быть утилизирован, применяют сжигание. Сжигают, как правило, обезвоженные осадки, в состав которых входят нефтяные отходы и органические растворители.

§ 138. УСРЕДНИТЕЛИ

Расход и концентрация загрязнений производственных сточных вод могут колебаться в течение суток в широких пределах. Поэтому необхо-

димо предусматривать регулирующие емкости — усреднители, обеспечивающие возможность равномерной подачи сточных вод с усредненной концентрацией на очистные сооружения.

Применение усреднителей для выравнивания колебаний расхода при биологической очистке дает экономию капитальных и эксплуатационных затрат наряду с более эффективной эксплуатацией. В усреднителе происходит смешение сточных вод различной концентрации, поступивших в течение периода колебания концентраций. При этом концентрации загрязнений будут выравниваться тем полнее, чем лучше поступающая сточная вода будет перемешиваться в усреднителе. Наиболее полное перемешивание может быть достигнуто барботерами, мешалками, насосами. Барботирование (перемешивание сточной воды сжатым воздухом) производится через перфорированные трубы с отверстиями $d=5$ мм, расположенными снизу. Трубы укладываются строго горизонтально вдоль резервуара. Использование воздуха для перемешивания особенно рационально на очистных станциях с общей воздухораспределительной системой.

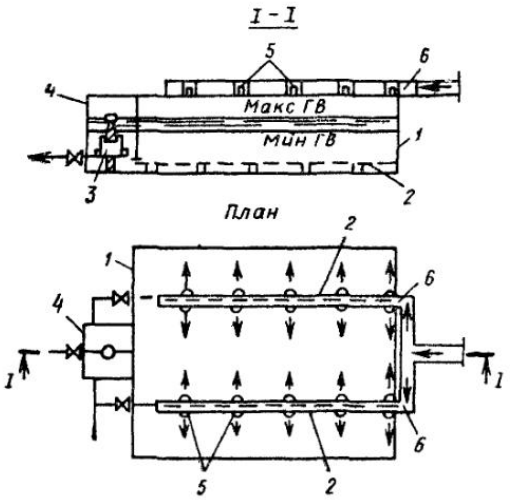


Рис. 5.13. Схема усреднителя

1 — резервуар усреднителя; *2* — барботер; *3* — выпускное устройство, *4* — выпускная камера; *5* — впускные отверстия; *6* — подающие лотки

На рис. 5.13 приведен резервуар-усреднитель, представляющий собой емкость с барботерами, расположенными горизонтально на подставках высотой 7—10 см от дна. Вода подается в резервуар сверху через впускные отверстия и после усреднителя, через определенный промежуток времени, через выпускную камеру отводится на дальнейшую обработку.

Объем усреднителя определяется степенью усреднения расхода сточных вод или концентрацией загрязнений или, что наиболее часто встречается в практике, необходимостью одновременного усреднения концентрации загрязнений и расхода сточных вод.

При усреднении только расхода сточных вод объем усреднителя определяется так же, как и емкость приемного резервуара насосной станции, — по графику колебаний притока сточных вод. Количество секций усреднителей рекомендуется принимать не менее двух. При отсутствии графиков емкость усреднителя необходимо определять по количеству сточных вод, поступающих в течение одной смены.

Объем усреднителя W при необходимости усреднения только концентраций загрязнений определяется по формуле

$$W = \sum_{1}^{T} q_i, \tag{5.8}$$

где q_i — часовые расходы сточных вод, м^3, в период усреднения.

При этом концентрация загрязнений в выходящем из усреднителя потоке определяется выражением

$$C_{\text{уср}} = \frac{\sum_{1}^{T} q_i C_i}{W}. \tag{5.9}$$

При необходимости усреднения концентрации загрязнений и расхода сточных вод объем усреднителя определяется как сумма объемов:

$$W = W_{\text{уср}} + W_{\text{рэз}}, \tag{5.10}$$

где $W_{\text{уср}}$ — объем резервуара, соответствующий требованиям усреднения сточной воды по концентрации загрязнений;

$W_{\text{рэз}}$ — объем резервуара, необходимый для усреднения расхода сточной воды.

Одновременное усреднение расхода сточных вод и концентрации загрязнений в них может быть достигнуто применением двухступенчатого усреднителя. Первая ступень служит для усреднения расхода и частичного усреднения концентраций загрязнений, а вторая ступень — для

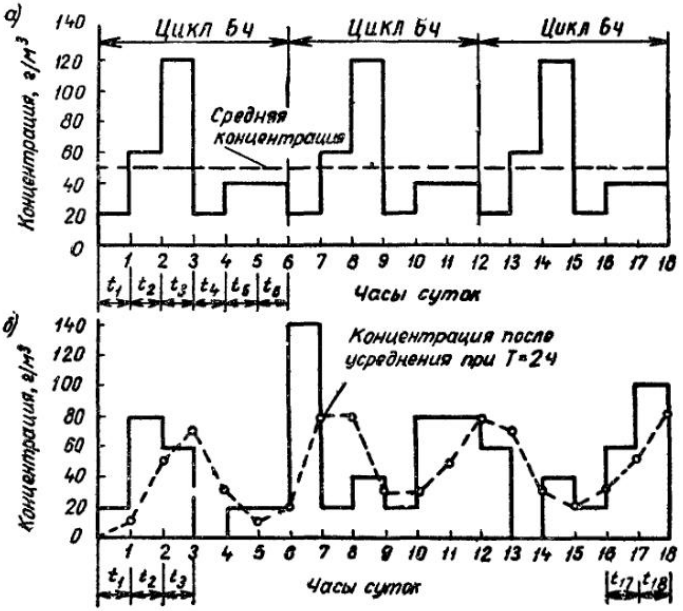


Рис. 5.14. Графики колебания концентрации сточных вод

а — усреднение при наличии цикличности; *б* — усреднение при отсутствии цикличности

окончательного усреднения концентраций (например, для предприятий текстильной промышленности период усреднения в первой ступени принимается равным 3 ч, во второй — 1 ч).

На основании графиков колебаний притока сточных вод и концентрации содержащихся в них загрязнений определяется необходимая продолжительность усреднения T. Графики колебания концентраций сточных вод при расчетной продолжительности цикла приведены на рис. 5.14. Величину T выбирают исходя из требований к усреднению сточной воды. Для сточных вод, расход которых и концентрация содержащихся в них загрязнений изменяются с явно выраженной цикличностью, период усреднения принимают равным продолжительности цикла. При отсутствии цикличности расчетный период усреднения T принимают в соответствии с требованиями к выравниванию концентраций, учитывая при этом и наихудшие условия, т. е. возможность притока сточной воды с наибольшей концентрацией загрязнений.

Побудительное перемешивание сточных вод предотвращает выпадение осадка, способствует удалению из сточной воды летучих веществ и окислению легкоокисляемых соединений.

Необходимое количество воздуха, подаваемого в усреднитель, определяется по формуле

$$Q_{\text{общ}} = nq_{\text{возд}} L, \tag{5.11}$$

где $Q_{общ}$ — общий расход воздуха, м³/ч;

n — число барботеров, устанавливаемых в усреднителе;

$q_{всзд}$ — удельная интенсивность барботирования м³/(ч·м), принимаемая в соответствии с условиями перемешивания: для пристенных барботеров (создающих один циркуляционный поток) 2—3 м³/(м·ч), для промежуточных барботеров (создающих два циркуляционных потока) 4—6 м³/(м·ч);

L — длина барботера, м.

Диаметр барботеров принимается 50—75 мм. Расстояние между барботерами b зависит от высоты слоя воды в усреднителе H. Оптимальная величина b равна 2—3 H; расстояние между барботером и стенкой усреднителя принимают равным 1,2—2 $H_{мин}$ ($H_{мин}$ — глубина погружения барботера при минимальном наполнении усреднителя, м).

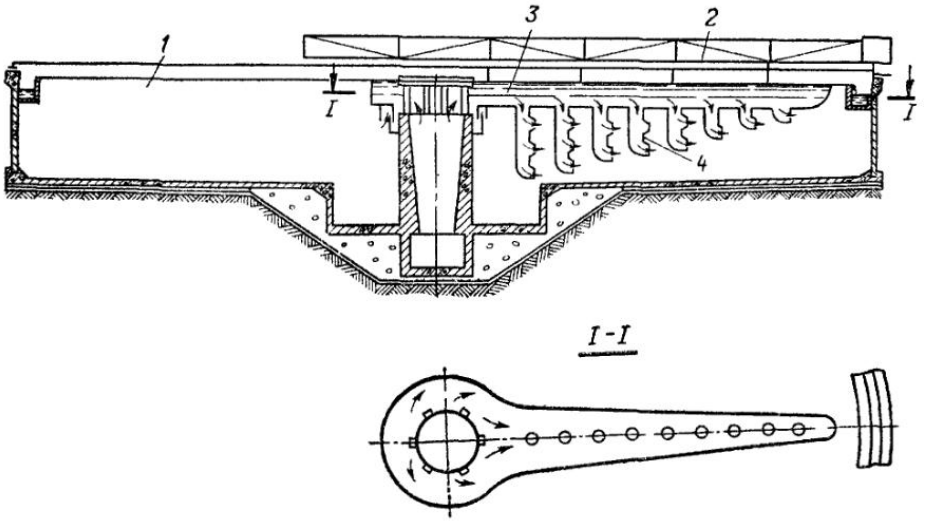


Рис 5.15 Радиальный усреднитель-отстойник

1 — отстойная часть, *2* — подвижная ферма, *3* — распределительный желоб, *4* — патрубки

В усреднителе, ширина которого не превышает полуторной глубины, может быть уложен один барботер, располагаемый у стены; при большей ширине усреднителя (2—3 глубины) укладывают два барботера и более. Барботеры размещают таким образом, чтобы каждый из них создавал два циркуляционных потока. На каждый барботер должно подаваться одинаковое количество воздуха, что облегчает его распределение.

Ширина усреднителя $B=nb$, длина $L=W_{мин}/H_{мин}B$.

Строительный материал для усреднителей выбирают с учетом химического состава сточных вод. Применение для барботирования полиэтиленовых труб при усреднении коррозионно-активной сточной воды обеспечивает надежную работу перемешивающих устройств.

Для усреднения концентраций растворенных загрязнений и облегчения удаления осадка из усреднителя применяют конструкцию комбинированного сооружения. Радиальный усреднитель-отстойник новой конструкции (рис. 5.15) выполняет функции усреднителя и отстойника с механическим удалением осадка и предназначен к установке на станциях очистки производственных сточных вод промышленных предприятий (металлургических, химических, целлюлозно-бумажных и др.). Эта конструкция состоит из следующих основных элементов: отстойной части, подвижной фермы и распределительного желоба с патрубками.

Подвижная ферма вращается относительно оси чаши отстойника. Патрубки снабжены направляющими соплами и обеспечивают равно-

мерное распределение воды по длине желоба и радиусу отстойника. Выпавшие в процессе усреднения осадки удаляются из отстойника при помощи скребкового механизма и насосов. Сточные воды вытекают из патрубков на разном расстоянии от сборного желоба. Поэтому время нахождения одновременно поступивших сточных вод с концентрированными загрязнениями в отстойной чаше будет различным.

§ 139. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Механическая очистка производится для удаления из производственных сточных вод нерастворенных примесей.

Основные процессы механической очистки: процеживание, отстаивание, выделение твердых взвешенных частиц при помощи центрифуг или гидроциклонов. Для задержания тонкодисперсной взвеси применяется фильтрование.

Тот или иной процесс механической очистки применяют в зависимости от свойств примесей и необходимой полноты их выделения.

Процеживание сточной воды производят на решетках или сетках в зависимости от требуемой полноты выделения нерастворенных примесей.

Решетки предназначаются для выделения из сточных вод крупных примесей и устанавливаются перед отстойниками. Они предусматриваются также на цеховых выпусках, если сточные воды содержат много крупных примесей, особенно волокнистых веществ, вызывающих засорение трубопроводов, насосов и очистных установок.

Материал решеток выбирают с учетом величины pH сточных вод (см. гл. XVII).

Для выделения более мелких взвешенных веществ применяют сетки. Барабанные сетки (рис. 5.16) представляют собой непрерывно действующий механизм в виде вращающегося барабана, на который натянута

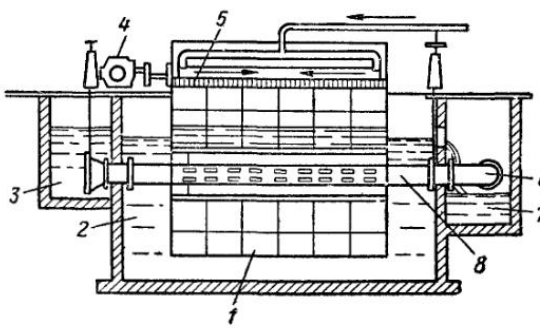


Рис. 5.16. Схема барабанной сетки

1 — вращающийся барабан с сеткой; *2* — камера для процеженной воды; *3* — канал для поступающей воды; *4* — привод; *5* — промывное устройство; *6* — отвод промывной воды; *7* — сборный канал, *8* — неподвижная труба с отверстиями

тонкая металлическая сетка. Рабочая сетка с размером ячеек 0,5×0,8 мм располагается между поддерживающими сетками, имеющими ячейки размером 10×10 мм. Скорость процеживания 40—50 м³/(м²·ч). Сетки погружены в воду на $^4/_5$ диаметра барабана. Уровень воды в камере принимается на 20 см ниже уровня воды в барабане. Очищаемая вода поступает внутрь барабана и процеживается через сетчатые элементы, наружу в камеру.

Промывная вода под давлением не менее 0,15—0,2 МПа поступает в пластинчатые разбрызгиватели, расположенные над барабаном по его образующей. Расстояние от стенок камеры до поверхности барабана должно быть не менее 0,5—0,7 м, а от торцов барабана до стенок — не менее 0,7 м.

Барабан приводится во вращение электродвигателем через редуктор. Окружная скорость вращения 0,1—0,5 м/с. Потери напора на сетке до-

пускаются около 0,2 м. Расход воды на промывку барабанных сеток составляет около 1% расхода обрабатываемой воды.

Барабанные сетки изготовляются воронежским заводом «Водмашоборудование», их основные характеристики приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Основные технические данные барабанных сеток

Марка агрегата	Пропускная способность, тыс м³/сутки	Число фильтрационных элементов, шт.	Электродвигатель		
			марка	мощность, кВт	частота вращения, мин$^{-1}$
БС 1,5×1	10	18	АОЛ/42-6	1,7	750
БС 1,5×2	20	36			
БС 1,5×3	30	54			
БС 3×1,5	35	18	АО/51-6	2,8	
БС 3×3	70	36			
БС 3×4,5	105	54			

Барабанные сетки чаще всего устанавливают для подготовки сточной воды перед подачей ее на фильтры.

Отстаивание. Для выделения из производственных сточных вод нерастворенных примесей применяют отстойники различных типов, чаще всего горизонтальные и радиальные с механизированным удалением осадка. По конструкции они мало отличаются от отстойников, применяемых при очистке бытовых сточных вод.

Отстойники применяются как в качестве сооружений для очистки (осветления) сточных вод, используемых в системах оборотного водоснабжения, так и для предварительной обработки сточных вод перед их биологической очисткой.

Для выделения из производственных сточных вод всплывающих примесей применяют отстойники специального назначения: нефтеловушки, жироуловители, смолоуловители и др.

При выборе типа и конструкции отстойников для производственных сточных вод необходимо учитывать химические и физические свойства этих вод и содержащихся в них взвешенных веществ, а также влияние на состав сточных вод технологических условий производства и местных факторов. К числу основных показателей относятся: температура сточных вод, поступающих на осветление; концентрация взвешенных веществ и их физические свойства; крупность частиц и их плотность, степень агломерации взвешенных частиц, скорость осаждения или всплывания частиц (гидравлическая крупность); влажность осадка непосредственно после его выпадения; кинетика процесса уплотнения осадка под водой; плотность сухого остатка.

На основании этих показателей и заданного эффекта осветления сточной воды определяют продолжительность отстаивания и размеры отстойников.

Отстойники могут быть в виде открытых или закрытых сооружений, что определяется климатическими условиями.

Отстойники рассчитывают на максимальный часовой приток сточных вод, а при наличии усреднительных резервуаров — на усредненный расход, на заданный эффект осветления сточной воды и по данным кинетики осаждения взвешенных частиц, устанавливаемой лабораторными исследованиями, с пересчетом на натурные условия.

Количество секций отстойников должно быть не менее двух; пропускная способность каждой из них 0,5 расчетного расхода.

При простом отстаивании остаточное содержание взвешенных веществ может быть больше допустимого. В этом случае следует приме-

нять отстаивание с коагуляцией взвешенных частиц. С целью экономии реагентов может быть применено простое отстаивание в качестве первой ступени осветления воды.

Для интенсификации процесса осаждения взвешенных частиц одновременно с введением коагулянтов следует применять и высокомолекулярные флокулянты ПАА, ВА-2 и другие в небольших дозах —1—3 мг/л.

При включении в систему оборотного водоснабжения обработанные реагентами сточные воды не должны обладать агрессивными свойствами и образовывать карбонатные и сульфатные отложения в сооружениях. Карбонатная жесткость обработанных сточных вод должна быть

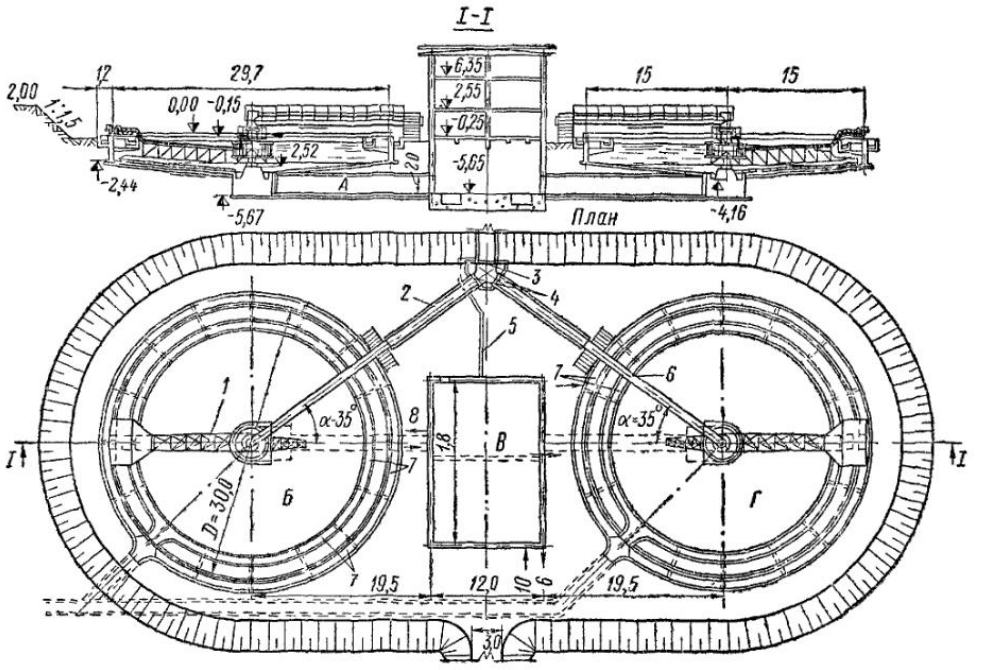


Рис. 5.17. Общий вид установки радиальных отстойников

1 — подвижная ферма, *2* — железобетонные водоподводящие лотки; *3* — решетки, *4* — затворы; *5* — подача реагента, *6* — подводящий трубопровод; *7* — периферийные сборные лотки, *А* — тоннель, *Б* — радиальный отстойник № 1; *В* — реагентное хозяйство и шламовая насосная станция, *Г* — радиальный отстойник № 2

не ниже 2,5 и не выше 5 мг-экв/л, pH=6...9; содержание сульфатов до 500—600 мг/л. В зависимости от характера очищаемых сточных вод части скребков, находящиеся в соприкосновении со стоками, изготовляются при необходимости из нержавеющей или кислотоупорной стали.

Одна из конструкций радиальных отстойников, применяемых на металлургических заводах для осветления сточных вод, приведена на рис. 5.17.

Радиальный отстойник предназначен для очистки (осветления) оборотной воды от механических примесей, уловленных ею в процессе очистки от пыли доменного газа металлургических заводов (очищенный доменный газ используется затем в качестве топлива). Оборотная вода в системе доменной газоочистки выполняет роль среды, поглощающей и транспортирующей механические примеси, а также охлаждает газ.

Отработавшая горячая вода от газоочистных аппаратов разводится по отстойникам. По лотку или трубопроводу вода сверху входит в центральное водораспределительное устройство и затем, двигаясь по отстойнику к периферии, освобождается от взвешенных веществ. Осветленная вода собирается периферийными лотками и затем трубопроводом

отводится в камеру горячей воды насосной станции системы оборотного водоснабжения, откуда перекачивается на градирни для охлаждения. Выпавший осадок сгребается скребковой системой вращающейся фермы к центральному приямку, а из него откачивается шламовыми насосами на установку обезвоживания.

Скребковая ферма отстойника имеет приспособление для автоматического подъема ее при перегрузках, которые могут возникнуть при чрезмерном уплотнении шламового слоя, образующегося на днище отстойника.

Периферийных лотков два — внешний и внутренний. Внешний лоток представляет собой канал, образованный внешней и внутренней стенкой отстойника. Внутренний лоток металлический, опирающийся на сливные трубы. Наличие двух лотков улучшает структуру потока при выходе осветленной воды из отстойника и уменьшает вынос частиц шлама в водосборные лотки.

Применение центрального привода в конструкции отстойника позволило выполнить скребковую ферму полностью затопленной, что улучшает гидравлические условия осветления воды (в верхних слоях не будет закручивания потока, вызываемого при движении фермы).

Диаметр отстойника 30,6 м. Нагрузка на 1 м^2 площади отстойника: без коагуляции сточной воды до 2,5, с коагуляцией сточной воды до 5 м^3/(м^2·ч). Конструкции и коммуникации рассчитаны на пропуск 3500 м^3/ч сточной воды.

Содержание взвешенных частиц: в воде, поступающей в отстойник,— 1500 мг/л, в осветленной воде, выходящей из отстойника, — 150 мг/л. Частота вращения скребковой фермы 180 мин$^{-1}$, высота подъема скребковой фермы 0,2 м.

Производственные сточные воды, содержащие всплывающие примеси (нефть, легкие смолы, масло и др.), очищают путем отстаивания. Для очистки сточных вод, содержащих грубодиспергированные нефть и нефтепродукты при концентрации их в сточной воде более 100 мг/л, применяют нефтеловушки. Они представляют собой прямоугольные, вытянутые в длину резервуары, в которых за счет разности плотности нефти и воды происходит их разделение. Нефть всплывает на поверхность, а содержащиеся в сточной воде минеральные примеси оседают на дно нефтеловушки.

Выделение всплывающих примесей из воды по существу аналогично осаждению твердых взвешенных частиц; отличие лишь в том, что плотность частицы ρ_2 в этом случае меньше плотности воды ρ_1 и частица вместо осаждения всплывает.

Результаты опытов и эксплуатационные данные показывают, что в основу расчета нефтеловушек должна быть положена скорость подъема капелек нефти диаметром 0,008—0,01 см. Плотность всплывающей нефти при $t=20°$ С 0.87 г/см^3.

Скорость всплывания (гидравлическая крупность) частиц указанного диаметра в жидкой среде с вязкостью μ определяется, см/с, по формуле Стокса

$$u_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\mu} g d^2. \qquad (5.12)$$

Для определения длины l, м, отстойной части нефтеловушки, обеспечивающей выделение частиц нефти и ее продуктов с гидравлической крупностью u_0 при средней расчетной скорости v сточной воды в проточной части нефтеловушки (при глубине проточной части, h), можно воспользоваться упрощенной расчетной формулой

$$l = a \frac{v}{u_0} h, \qquad (5.13)$$

где a — коэффициент, учитывающий турбулентность и струйность потока воды в нефтеловушке и зависящий от величины отношения скоростей:

$\frac{v}{u_0}$	20	15	10
a	1,75	1,65	1,5

При отсутствии данных по кинетике всплывания частиц нефти допускается принимать: u_0=0,4...0,6 мм/с, v=4...6 мм/с. Количество задержанных при этом частиц составляет 70% при u_0=0,4 мм/с, 60% при u_0= =0,6 мм/с.

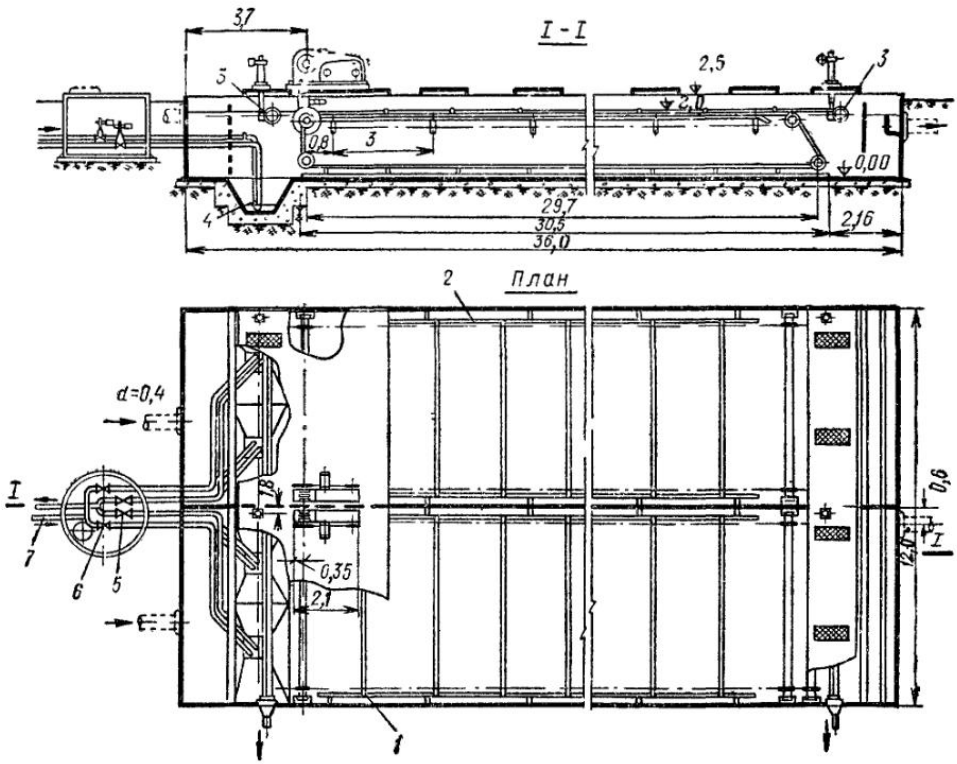


Рис. 5.18. Нефтеловушка пропускной способностью 400 м³/ч

1 — скребковый транспортер правый; *2* — то же, левый; *3* — нефтесборная труба; *4* — гидроэлеватор; *5* и *6* — задвижки с электроприводом во взрывобезопасном исполнении; *7* — трубопровод для подачи воды к гидроэлеватору

При проектировании нефтеловушек следует принимать глубину проточной части 2 м, отношение длины к глубине 15—20, ширину секций 3—6 м, число секций не менее 2; слой всплывшей нефти 0,1 м, слой осадка до 0,1 м; влажность свежевыпавшего осадка 95% при плотности 1,1 т/м³, влажность слежавшегося осадка 70% при плотности 1,5 т/м³; количество задержанного осадка по сухому веществу 80—120 г на 1 м³ сточных вод.

Нефтеловушка представляет собой горизонтальный отстойник, разделенный продольными стенками на параллельно работающие секции (рис. 5.18).

Сточная вода поступает из отдельно расположенной распределительной камеры по трубопроводам в секции нефтеловушки; отсюда через распределительную щелевую перегородку она проходит в отстойную камеру.

При протекании по отстойной камере нефть и нефтепродукты всплывают на поверхность воды. Всплывшую нефть собирают щелевыми поворотными трубами, установленными в начале и конце секций. Освобожденная от нефти вода в конце отстойной камеры проходит под затопленной нефтеудерживающей стенкой и через водослив переливается в отводящий лоток, а затем поступает в отводящий коллектор.

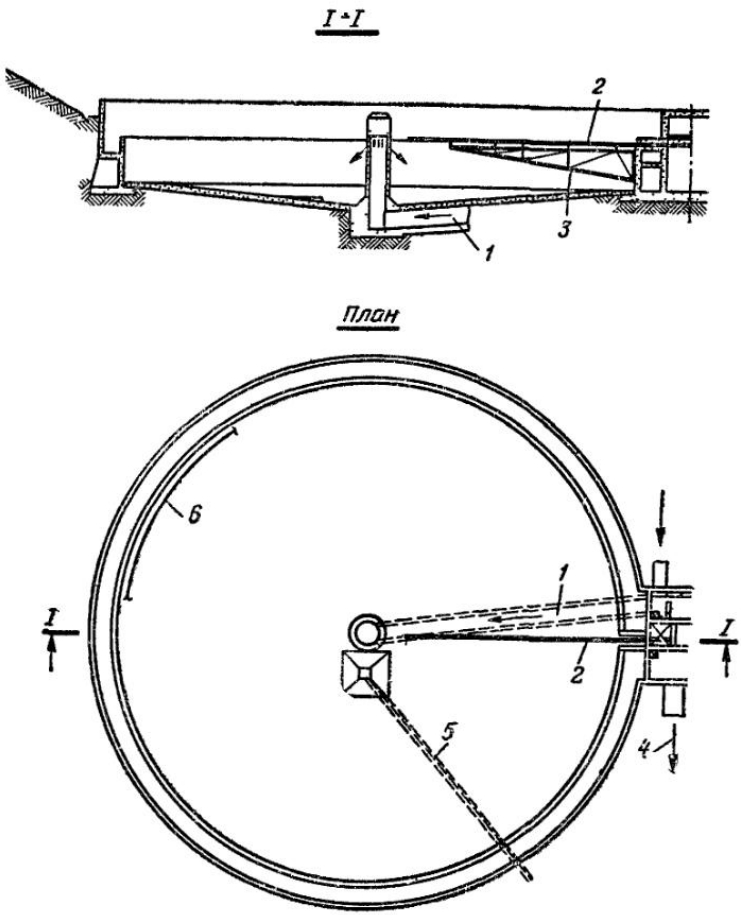


Рис. 5.19. Нефтеловушка радиального типа

1 — поступление сточной воды; *2* — труба для сбора всплывшей нефти, *3*—подвижная ферма, *4*—выход очищенной воды, *5* — илопровод; *6*—доска для задерживания всплывшей нефти

Для сгона нефти к нефтесборным трубам, сбора осадка, выпадающего в нефтеловушке, и перемещения его в приямок имеется скребковый транспортер, работающий от электропривода через редуктор и цепную передачу. Скребковые транспортеры для каждой секции нефтеловушки устанавливают с индивидуальными приводами.

Осадок из приямка нефтеловушки удаляется один-два раза в сутки в илопровод при помощи гидроэлеваторов или через донные клапаны.

Для защиты от снега и улучшения условий эксплуатации нефтеловушки перекрывают съемными плитами. Зимой в нефтеловушки подается пар для прогрева верхнего слоя жидкости, что способствует лучшему сбору и отведению уловленной нефти.

Работа всех механизмов нефтеловушки автоматизируется при помощи электропневматического прибора типа КЭП-12У.

Удаление нефти из нефтеловушек производится по накоплении определенного слоя ее. Электронные сигнализаторы уровня, реагирующие на границу раздела фаз нефть — вода, устанавливаются на специальных поплавках и используются для подачи импульса в схемы управления скребковым транспортером и поворотными нефтесборными трубами при

накоплении заданного слоя нефти (не более 100 мм). На рис. 5.19 представлена нефтеловушка радиального типа.

При правильной эксплуатации нефтеловушки дают и более высокий эффект улавливания нефтепродуктов (90—99%).

Типовую нефтеловушку, применяющуюся в настоящее время на очистных станциях нефтеперерабатывающих заводов, можно реконструировать с использованием принципа тонкослойного отстаивания, который осуществляется делением рабочего объема нефтеловушки на отдельные секции параллельными пластинами с углом наклона к горизонту 45—60°. Благодаря уменьшению высоты, в которой происходит разделение сточных вод, резко сокращается продолжительность процесса отстаивания. Равномерное распределение водного потока, обеспеченное в начале нефтеловушки водораспределительным устройством, сохраняется по всей ее длине. Исследования тонкослойной опытной нефтеловушки конструкции ВНИИ ВОДГЕО показали, что коэффициент использования ее объема составляет 90—93%, тогда как в типовой нефтеловушке он составляет 50—60%. Нефтеловушка новой конструкции при том же эффекте осветления, что и типовая, имеет в 5—6 раз меньший строительный объем и стоимость ее на 20—30% ниже, гидравлическая нагрузка может быть увеличена до 4 $м^3/(м^2 \cdot ч)$. Незначительная площадь, занимаемая этой нефтеловушкой, даст возможность в необходимых случаях осуществить герметизацию сооружения.

Жироулавливание. Жиры и масла не допускаются к спуску в водоем, так как они, покрывая тонкой пленкой большие площади водной поверхности, затрудняют доступ кислорода воздуха и тем самым тормозят процессы самоочищения водоема. Кроме того, жиры, содержащиеся в производственных сточных водах, являются сырьем, которое может быть переработано для технических целей. Поэтому сточные воды, содержащие жиры и масла (сточные воды столовых, фабрик-кухонь, мясокомбинатов, маслозаводов, фабрик первичной обработки шерсти и др.) в количестве более 100 мг/л, пропускают через жироловушки.

Различают два вида жироловушек: цеховые и общие. Первые устанавливаются непосредственно у отдельных производственных цехов, сточные воды которых содержат много жиров; вторые устанавливаются на общем стоке жиросодержащих вод.

В зависимости от количества задерживаемых жиров последние удаляются из жироловушек при помощи насосов и вакуумных установок. При удалении жира насосами или вакуумными установками его подогревают до 45—50° С.

Цеховые жироловушки обычно имеют вид прямоугольных резервуаров глубиной (проточной части) не более 2 м. Продолжительность пребывания в них сточной жидкости принимается равной 5—7 мин.

В начале и конце жироловушки устанавливают не доходящие (на 0,3—0,5 м) до дна поперечные перегородки.

Общие жироловушки рассчитываются на более продолжительное пребывание в них жиросодержащей воды.

Скорость протока в горизонтальных жироловушках рекомендуется принимать равной 0,5 мм/с, в вертикальных — 0,3—0,4 мм/с.

Диаметр жировых частиц, задерживаемых в жироловушках, принимают равным 0,008—0,01 см, плотность всплывающего жира при 50° С — 0,9 $г/см^3$.

Жиросодержащая сточная вода поступает в распределительный лоток и далее в отстойную часть жироловушки. Для задержания всплывших веществ служит полузатопленная стенка в конце жироловушки, а для сбора — поворотные щелевые трубы, установленные в конце каждой секции. Трубы могут вращаться вокруг своей оси, регулируя этим высоту снимаемого слоя жира.

Для подачи всплывших веществ к щелевым трубам служит автома-

тизированный механизм с приводом от электродвигателя, смонтированный на подвижной тележке, которая перемещается вдоль секции жироловушки.

Собранная масса поступает по самотечному трубопроводу в приемный резервуар, откуда периодически перекачивается во второй резервуар-отстойник, где происходит дальнейшее разделение жира и воды. Выделившаяся вода возвращается в жироловушку, а жир направляется на дальнейшую переработку. Выпадающий в жироловушке осадок сползает в приямки, откуда периодически перекачивается в автоцистерну. Во избежание засорения грязевые трубопроводы периодически продуваются острым паром. Для промывки секций жироловушки предусматривается подвод горячей воды.

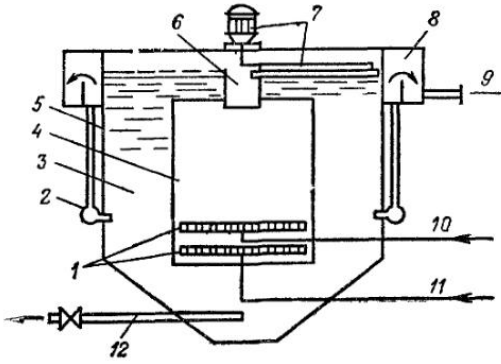


Рис. 5.20. Аэрируемая жироловушка

1 — реактивное водораспределительное устройство; *2* — водосборный коллектор; *3*—зона отстаивания; *4* — зона флотации; *5*—корпус; *6* — лоток для сбора жировой массы; *7* — привод и скребок; *8* — кольцевой сборник; *9* — очищенные воды; *10* — сточные воды; *11* — водо-воздушная эмульсия; *12*—осадок

Для более полного отделения жировых частиц в отстойной части сборных резервуаров поддерживается температура не выше 60° С.

Для увеличения эффективности жироулавливания применяются аэрируемые жироловушки (рис. 5.20).

Жиросодержащие сточные воды подаются по трубопроводу через реактивный распределитель в нижнюю часть флотационной камеры, расположенную внутри корпуса жироловушки. В эту же камеру через второй реактивный распределитель по трубопроводу нагнетается водовоздушная эмульсия. Сточная вода аэрируется мельчайшими пузырьками воздуха, выделяющимися из водовоздушной эмульсии при снижении давления. Во флотационной камере наиболее крупные жировые частицы всплывают на поверхность, а сточная вода поступает в зону отстаивания. Здесь всплывают наиболее мелкие частицы жира, флотируемые мельчайшими пузырьками воздуха, поступающими с потоком очищаемой воды. В этой зоне происходит также осаждение наиболее тяжелых взвесей, главным образом минерального происхождения.

Очищенная сточная вода поступает в водосборный коллектор и из него через ряд стояков в кольцевой водосборник, откуда может быть направлена на дальнейшую очистку. Для поддержания постоянного уровня воды в жироловушке в кольцевом водосборнике на всю его длину установлен водослив. Верхняя отметка гребня водослива должна быть ниже на 2—2,5 см верхней отметки лотка.

Всплывшая на поверхность жировая масса удаляется скребком в лоток, а затем из него самотеком может быть направлена в резервуар для уплотнения. Образующийся в конусной части осадок периодически удаляется в специальную емкость.

Продолжительность всплывания жировых частиц на поверхность зависит от высоты слоя очищаемой жидкости, температуры ее, а также от размера жировых частиц, скорости потока воды, от состава и плотности жировых веществ, содержащихся в сточных водах, коэффициента сопротивления и других факторов.

На крупных предприятиях при объеме жиросодержащих стоков свыше 1000 м³ в сутки должны быть установлены две жироловушки, при меньшем количестве стоков можно ограничиться одной жироловушкой. Глубину слоя очищаемой воды следует принимать 2—2,5 м.

В водовоздушной эмульсии должно содержаться 1,5—2,5% воздуха. Продолжительность пребывания очищаемой сточной воды во флотационной камере — не менее 20 мин, в отстойной зоне — 25 мин. Содержание воды во всплывающей массе — не более 96—97%, а в массе, отстоявшейся в течение 12 ч, — около 90%.

Общую площадь отверстий в реактивном водораспределительном устройстве следует определять исходя из скорости течения 0,8—1 м/с. Диаметр каждого отверстия должен быть принят из условия незасоряемости — от 10 до 20 мм.

Эффект очистки сточных вод составляет 70%, а в отдельных случаях — 80—90%.

Для перекачки жировой массы, задержанной аэрируемой жироловушкой и флотаторами, следует использовать шестеренчатые, поршневые насосы, так как центробежные, вихревые и другие насосы не надежны в работе по перекачке жировой массы, особенно обезвоженной.

Выделение смол и масел. Смолы и различные смолообразователи содержатся в сточных водах многих производств (заводов синтетического каучука, синтетического спирта, коксохимических заводов, газогенераторных станций и некоторых других предприятий). Смолы представляют собой сырье для получения ряда весьма ценных продуктов, что обусловливает необходимость их улавливания.

Смолы разделяют на грубодиспергированные (всплывающие и тонущие частицы) и тонкодиспергированные (эмульгированные частицы). Первые выделяются путем простого отстаивания, вторые — при отстаивании с коагулированием и последующем фильтровании.

Для выделения смол из сточных вод применяют вертикальные и горизонтальные смолоотстойники.

Смолоотстойники для грубодиспергированных смол рассчитываются на продолжительность пребывания в них сточных вод от 2 до 4 ч. Скорость движения воды в горизонтальном смолоуловителе обычно не превышает 2 мм/с, в вертикальном — 0,5 мм/с.

Легкие смолы и масла в смолоотстойниках собирают с поверхности воды так же, как нефть в нефтеловушках; собранная масса отводится в сборный резервуар, откуда перекачивается на переработку. Тяжелые смолы, выпадающие на дно сооружения вместе с осадком, удаляют скребковыми механизмами не реже одного раза в сутки.

Компактными сооружениями для удаления масел из сточной воды являются тонкослойные маслоуловители. Пластинки в них устанавливаются под углом 45° в продольном направлении. Создание ярусов обеспечивает минимальную высоту всплывания масляных капель 10—20 см (вместо 2—3 м в обычных маслоуловителях). В этих маслоуловителях гидравлическая нагрузка может быть увеличена в несколько раз в сравнении с обычными конструкциями при сохранении того же эффекта маслоулавливания.

На рис. 5.21 изображен один из тонкослойных маслоуловителей небольшой производительности, применяемых за рубежом для очистки сточных вод автобаз.

Фильтрование сточных вод применяется для выделения из них тонкодиспергированных веществ (масел, смол, волокон, пыли и т. п.), удалять которые путем отстаивания не удается; при доочистке сточных вод после биологического или других способов обработки. После аэротенков фильтры предусматриваются для задержания тонкодисперсных частиц активного ила, сорбировавшего на своей поверхности органические загрязнения сточных вод.

В качестве фильтрующего материала могут быть использованы кварцевый песок, дробленый гравий, коксовая мелочь, а также все виды газифицируемого твердого топлива (бурый уголь, торф, древесина, горелые породы). Выбор материала производится в зависимости от вида сточных вод.

В практике применяют открытые (безнапорные) и закрытые (напорные) фильтры.

Высота слоя загрузки в открытых фильтрах находится в пределах 1—2 м. Нижняя часть фильтра загружается фракциями крупностью 50—80 мм, верхняя — фракциями крупностью 5—10 мм.

Закрытые фильтры чаще всего загружают песком крупностью 0,2—2 мм. Высота слоя загрузки колеблется от 0,5 до 1 м; при загрузке гравийной мелочью диаметром 1—2 мм высота слоя увеличивается до 1—

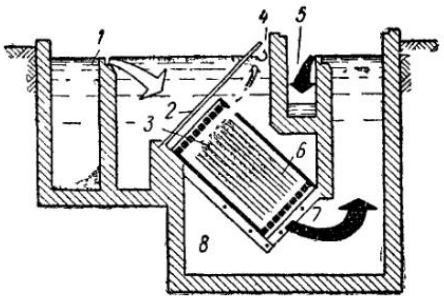


Рис. 5.21. Тонкослойный маслоуловитель небольшой мощности

1 — песколовка; *2* — направляющая плита; *3* — всплывающее масло, *4* — сбор масла, *5* — отвод очищенной воды; *6*—секция пластин, *7* — отвод воды; *8* — иловое пространство

1,5 м. Для загрузки фильтров применяется также коксовая мелочь диаметром 5—15 мм.

Скорость фильтрации зависит от вида и крупности фильтрующего материала и от вида и концентрации удаляемых веществ: в открытых фильтрах она ниже, чем в закрытых. От тех же факторов зависят и другие основные показатели работы фильтров: их грязеемкость, продолжительность фильтроцикла, потери напора и т. п.

Скорые фильтры применяются двух типов: однослойные (с загрузкой, выполненной из однородного фильтрующего материала) и двухслойные (с загрузкой из различных материалов) с подачей воды сверху или снизу. Фильтры с подачей воды снизу, как правило, применяются для производственных сточных вод.

Скоростной контактный фильтр КФ-5 может использоваться при реагентной очистке производственных сточных вод от грубодисперсных и коллоидных примесей (рис. 5.22).

Отличительной особенностью фильтра является наличие дырчатой водопроводящей (распределительной) системы, расположенной непосредственно над поверхностью загрузки. Распределительная система позволяет избежать предварительного хлопьеобразования над загрузкой и создать условия, необходимые для эффективной коагуляции примесей и продуктов гидролиза на поверхности зерен загрузки, что значительно увеличивает эффективность фильтрования.

Фильтр имеет 2—4 слоя, различных по гранулометрическому составу и кажущейся плотности; дренаж фильтра выполнен из пористобетонных сборных плит.

Применять такие фильтры рационально при концентрации взвешенных веществ в очищаемой воде до 300—400 мг/л со скоростью фильтрования 12—20 м/ч. Пропускная способность фильтра 15 000 м³/ч, интенсивность промывки 0,014—0,016 м³/(м²·с), высота слоя загрузки 1,5—2 м, предельный напор 2,5—3 м.

Двухслойные фильтры с подачей воды сверху. Для очистки некоторых видов производственных сточных вод, например вод

нефтеперерабатывающих заводов, можно рекомендовать использование двухслойных фильтров с загрузкой песком и антрацитом (рис. 5 23). Верхние слои загрузки такого фильтра предусматриваются из более крупных зерен антрацита меньшей плотности, чем нижние кварцевые слои, в результате чего достигается увеличение грязеемкости двухслойных фильтров в 2—2,5 раза по сравнению с обычными скорыми фильтрами. На поверхности слоя крупнозернистой загрузки не образуется плотной пленки, и, таким образом, больший объем порового пространства фильтрующих слоев используется для задержания загрязнении. Скорость фильтрования на двухслойном фильтре выше, чем на скором фильтре, а продолжительность фильтроцикла больше.

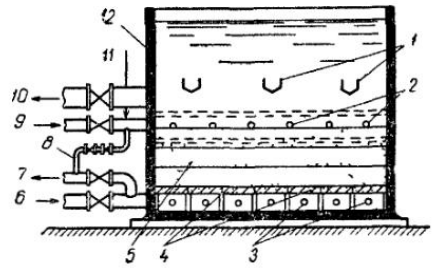


Рис. 5.22. Скоростной контактный фильтр КФ-5

1 — желоба для отвода промывной воды, *2* — водоподводящая система, *3* — устройство для подачи промывной воды в поддон фильтра, *4* — пористый дренаж, *5* — загрузка фильтра, *6* — трубопровод для подачи промывной воды, *7* — трубопровод для отвода профильтрованной воды, *8* — соединительная линия с регулирующим устройством, *9* — трубопровод подачи исходной воды, *10* — линия сброса промывной воды, *11* — линия подачи коагулянта, *12* — корпус фильтра

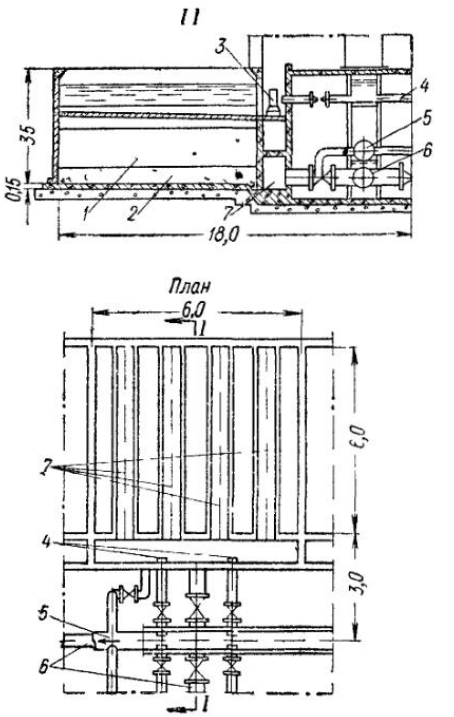


Рис 5 23 Двухслойный фильтр

1 — антрацитовая крошка, *2* — кварцевый песок, *3* — донный клапан, *4* — подача воды на фильтрование, *5* — отвод профильтрованной воды, *6* — подача воды на промывку, *7* — переливные желоба

Для загрузки двухслойного фильтра следует применять отсортированный песок с размером зерен 0,5—1,2 мм и коэффициентом неоднородности не более 2. Размер зерен антрацитовой крошки 0,8—1,8 мм. Если соотношение фракций песка и антрацита выбрано правильно, то при промывке не должно происходить перемешивания их на границе слоев.

Промывку двухслойных фильтров производят током воды снизу вверх с интенсивностью, обеспечивающей 50%-ное увеличение в объеме всего слоя загрузки. Расход промывной воды обычно не превосходит 2,5% объема отфильтрованной воды.

Для удаления слоя активного ила, образующегося на поверхности загрузки, и ее взрыхления перед обычной промывкой автоматически включается механизм поверхностной промывки, разработанный в Мосводоканалниипроекте.

Конструкция фильтра мало отличается от конструкции однослойного песчаного фильтра с отводом промывной воды желобами.

Параметры для расчета фильтров Фильтры следует рассчитывать на работу при нормальном и форсированном режимах. Основные расчетные параметры фильтров приведены в табл. 5.6. На очистных станци-

ях с количеством фильтров до 20 следует предусматривать выключение на ремонт одного фильтра; при количестве фильтров более 20 надлежит предусматривать одновременный ремонт двух фильтров.

Таблица 56

Основные расчетные параметры фильтров

Тип фильтра	Характеристика фильтрующего слоя					Расчетная скорость фильтрации, м/ч	Скорость фильтрации при форсированном режиме, м/ч
	диаметр зерен загрузки, мм			коэффициент неоднородности	высота слоя, м		
	минимальный	максимальный	эквивалентный				
Однослойные фильтры с направлением потока сверху вниз	0,8	2	1,5	1,8—2	1,2	5—7	8
Однослойные фильтры с направлением потока снизу вверх	1,2	2	1,5	1,8—2	1,5	7—8	9
Двухслойные фильтры							
антрацит	0,8	1,8	1,1	2	0,5	8—10	10
песок	0,5	1,2	0,9	2	0,7	8—10	10

Площадь фильтров, м², определяется по следующей формуле:

$$F = \frac{QK}{Tv_{р.н} - 3600nWt_1 - nt_2v_{р.н} - nt_3v_{р.н}}, \qquad (5.14)$$

где Q — пропускная способность очистной станции, м³/сутки;

K — коэффициент неравномерности, $K = 1{,}15...1{,}35$;

T — продолжительность работы станции в течение суток, ч;

$v_{р.н}$ — расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч;

n — число промывок каждого фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации;

W — интенсивность промывки, м³/(м²·с);

t_1 — продолжительность промывки (~0,1 ч);

t_2 — время простоя фильтров в связи с промывкой, ч (~0,33 ч);

t_3 — продолжительность сброса первого фильтрата, ч (~0,17 ч).

Количество фильтров (контактных осветлителей) следует определять исходя из эксплуатационных соображений, но их должно быть не менее 4 (при соответствующем обосновании — не менее 3).

При фильтрации снизу вверх необходимо предусмотреть мероприятия по стабилизации скорости фильтрования. Колебания скорости не должны превышать 15%. Для промывки фильтров используется отфильтрованная или исходная вода при концентрации взвешенных частиц менее 20 мг/л. Интенсивность промывки кварцевых фильтров с подачей воды снизу 0,015—0,016 м³/(м²·с), с подачей сверху 0,016—0,018 м³/(м²·с), а двухслойных — 0,014—0,016 м³/(м²·с). Продолжительность промывки песчаных фильтров 6—8 мин, двухслойных—8—10 мин.

В фильтрах с направлением фильтрации сверху вниз для лучшей отмывки от загрязнений следует применять устройства для гидравлического или механического взрыхления верхнего слоя загрузки.

Для фильтров с направлением фильтрации снизу вверх предусматривается водовоздушная промывка: предварительная продувка воздухом в течение 1—2 мин с интенсивностью 0,018—0,2 м³/(м²·с) и последующая промывка водой в течение 8—10 мин с интенсивностью подачи

воды 0,003—0,004 м³/(м²·с) или в течение 4—5 мин с интенсивностью подачи воды 0,006—0,007 м³/(м²·с).

Продолжительность фильтроцикла песчаных фильтров с подачей воды сверху при исходной концентрации взвешенных частиц 15—20 мг/л 12 ч и при 20—40 мг/л — 8 ч; с фильтрацией снизу в песчаных фильтрах и двухслойных — соответственно 24 и 16 ч. Для увеличения продолжительности фильтроцикла перед фильтрами устанавливаются барабанные сетки с размером ячеек 0,5×1 мм и скоростью процеживания 40—50 м³/(м²·ч).

При доочистке промышленных сточных вод продолжительность фильтроцикла устанавливается опытным путем.

Резервуары промывной воды и грязных вод от промывки фильтров следует предусматривать вместимостью не менее чем на две промывки. Осадок из резервуаров грязных промывных вод направляется на обработку совместно с избыточным активным илом; отстоенная вода возвращается в аэротенки.

Общую потерю напора в фильтрах следует принимать 3—3,5 м. Высота слоя воды над поверхностью загрузки в открытых фильтрах обычной конструкции (с подачей сверху) должна быть не менее 2 м; превышение строительной высоты над расчетным уровнем воды — не менее 0,5 м. Над уровнем воды в фильтрах (при количестве их менее шести) необходимо предусматривать дополнительную высоту $H_{доп}$ для приема воды при выключении фильтров на промывку:

$$H_{доп} = \frac{W}{\Sigma F}, \qquad (5.15)$$

где W — объем воды, м³, накапливающейся за время одной операции по промывке фильтров;

ΣF — суммарная площадь фильтров, м².

Для предотвращения биологического обрастания загрузки фильтров необходимо предусматривать возможность их промывки через 2—3 мес. работы хлорированной водой с концентрацией хлора 0,2 г/л. Продолжительность контакта загрузки с хлорированной водой 24 ч. Хлорная вода после промывки фильтров должна направляться в контактные резервуары.

В состав станции очистки с применением фильтров входят: воздухоотделительный резервуар, песчаные фильтры, резервуары для горячей, холодной и промывочной вод, насосно-воздуходувная станция и насосная станция для возврата фильтрованной воды в систему оборотного водоснабжения.

Выбор типа фильтра для очистки производственных сточных вод определяется многими факторами. К основным факторам относятся: количество фильтруемых сточных вод, концентрация загрязнений и степень их дисперсности, физико-химические свойства твердой и жидкой фаз фильтруемых вод, а также требуемая степень их очистки.

Микрофильтры применяются для выделения из сточных вод взвешенных твердых веществ и волокнистых примесей (рис. 5.24).

Процесс микрофильтрации заключается в процеживании сточной воды через сетки с мелким размером ячеек. В процессе микрофильтрации при определенных гидравлических режимах на поверхности сетки образуется слой загрязнений, который сам становится фильтром и увеличивает эффект осветления сточных вод. Эффект очистки на микрофильтрах зависит от ряда факторов: состава и свойства воды, размера ячеек сеток и режима работы микрофильтров (гидравлической нагрузки, потерь напора, интенсивности промывки и пр.).

На микрофильтрах достигается снижение содержания в воде взвешенных веществ на 50—60% и БПК на 25—30% при исходной концентрации взвешенных веществ 15—20 мг/л и соответственно на 55—65 и 30—35% при исходной концентрации взвешенных веществ 20—40 мг/л.

Следует отметить, что в процессе микрофильтрации содержание растворенного кислорода в очищенной сточной воде не снижается.

Микрофильтры представляют собой непрерывно действующие механизмы, состоящие из цилиндрического барабана, обтянутого микросеткой. Очищаемая вода поступает внутрь установки через открытую торцовую стенку барабана и выходит в радиальном направлении, фильтруясь через сетку. Промывка микрофильтра производится струями воды из щелевых труб или разбрызгивателей пластинчатого типа, расположенных над сеткой. Вода, использованная для очистки микросетки, собирается в специальный короб, расположенный внутри барабана, а затем выводится из установки. В процессе микрофильтрации сточная вода осветляется, а на сетке накапливается осадок — фильтрующий слой, который позволяет улавливать более мелкие взвешенные частицы. Решающим фактором, определяющим качество очистки сточных вод, является скорость фильтрации, с повышением которой качество сточных вод снижается.

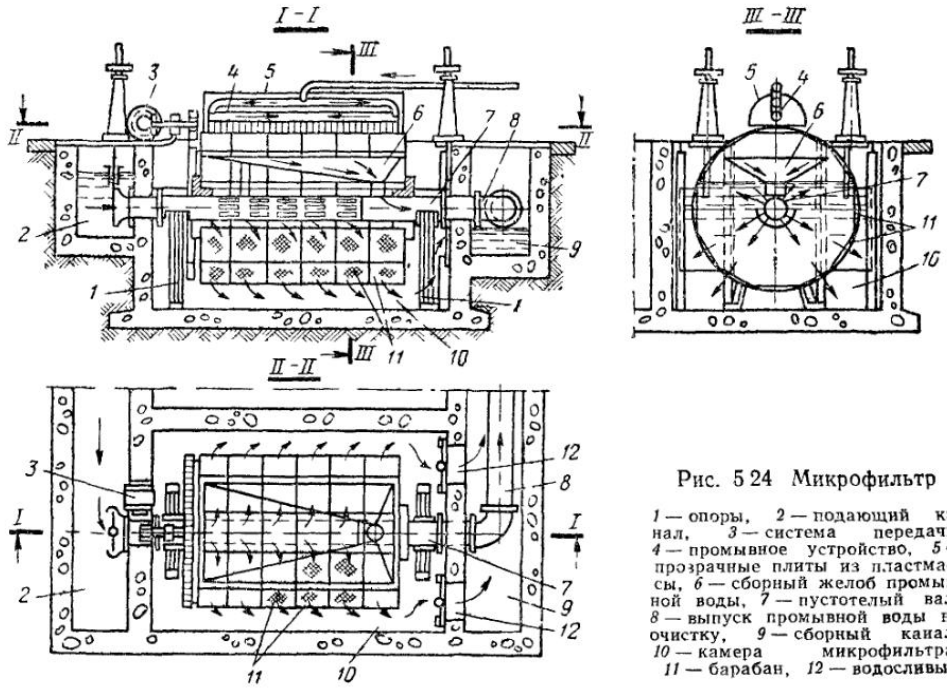


Рис. 5 24 Микрофильтр

1 — опоры, *2* — подающий канал, *3* — система передачи; *4* — промывное устройство, *5* — прозрачные плиты из пластмассы, *6* — сборный желоб промывной воды, *7* — пустотелый вал; *8* — выпуск промывной воды на очистку, *9* — сборный канал; *10* — камера микрофильтра, *11* — барабан, *12* — водосливы

При проектировании рекомендуется принимать: размер ячеек барабанной сетки 40×40 мкм (0,04 мм), поддерживающей сетки 1,25×2 мм, высоту заполнения барабана микрофильтра водой 0,7 его диаметра, частота вращения барабана 6—20 мин$^{-1}$, продолжительность фильтроцикла 15—30 с, скорость фильтрации 25—45 м^3/(м^2·ч).

Промывку фильтров следует производить отфильтрованной водой под давлением 0,1—0,2 МПа. Расход промывной воды — 3—5% пропускной способности установки.

Скорость истечения струй промывной воды из отверстий промывного устройства должна приниматься 0,8—1 м/с.

Потерю напора на микрофильтре рекомендуется поддерживать в пределах 0,015—0,25 м.

Необходимо предусмотреть возможность регенерации микрофильтров от биологических обрастаний (например, промывка хлорной водой). За рубежом для предотвращения биологического обрастания микрофильтров их облучают ультрафиолетовыми лампами.

Микрофильтры изготовляются воронежским заводом «Водмашоборудование». Основные технические данные микрофильтров приводятся в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Основные параметры микрофильтров

Показатель	Пропускная способность очистных сооружений, тыс. м³/сутки			
	25	50	100	200
Марка микрофильтра	МФ-1,6×3	МФ-1,6×3	МФ-2,8×3	МФ-2,8×3
Пропускная способность фильтра, тыс. м³/сутки	4	4	10	10
Количество микрофильтров (рабочих/резервных), шт.	6/1	12/2	10/2	22/2
Напор, м	35	35	35	35
Расход промывной воды, м³/ч	35	70	140	280
Марка насосов и электродвигателей для промывки фильтров . . .	3К-6; КО21-2	3К-6; КО21-2	6К-8; АО2-72-4	6К-8; АО2-72
Подача промывных насосов, м³/ч	60	60	160	160
Напор промывных насосов, м	45	45	35	35
Количество промывных насосов (рабочих/резервных), шт.	1/1	1/1	1/1	2/1

Себестоимость доочистки 1 м³ сточной воды на микрофильтрах, устанавливаемых после вторичных отстойников, на станциях пропускной способностью 50 тыс. м³/сутки составляет 0,0025 руб., а на станциях пропускной способностью 100 тыс. м³/сутки — 0,0014 руб.

В Советском Союзе на ряде бумажных комбинатов применяют микрофильтры для задержания волокнистой массы, содержащейся в сточной воде; они построены на Камском и Петрозаводском целлюлозно-бумажных комбинатах.

Институтом Союзводоканалпроект по рекомендации ВНИИ ВОДГЕО запроектирована для Новомосковского химического комбината доочистка промышленных сточных вод на микрофильтрах со снижением концентрации взвешенных веществ до 7 мг/л.

Гиперфильтрация. Для глубокой очистки сточных вод от взвешенных и коллоидных бактерий, вирусов и других органических продуктов может быть применен метод гиперфильтрации.

Его применяют и для опреснения солоноватой воды, для извлечения ценных веществ, например при очистке производственных сточных вод, содержащих протеин, крахмал и т. п. Метод гиперфильтрации является перспективным для удаления ртути из сточных вод. Схематически процесс гиперфильтрации показан на рис. 5.25. В качестве фильтрующих элементов служат мембраны, изготовляемые из ацетилцеллюлозы, а также из полиакриламидных волокон.

Скорость фильтрации сточной воды F_1 определяется по формуле

$$F_1 = K_1 (\Delta p - p), \qquad (5.16)$$

где K_1 — постоянная мембраны;
Δp — приложенное давление;
p — осмотическое давление.

Мембраны из ацетилцеллюлозы обеспечивают высокую пропускную способность и селективность в процессе гиперфильтрации при давлении 2,2—7 МПа. Ацетилцеллюлозные мембраны могут использоваться для обработки воды с pH в пределах от 3 до 8 и температурой не ниже 35° С. Пропускная способность установок гиперфильтрации 9—14 тыс. м³/сутки. Срок службы мембраны достигает одного года, а для обработки отдельных видов сточной воды — двух лет.

Для предотвращения забивки пор мембран рекомендуется поддерживать высокие скорости фильтрации и турбулентный режим ($Re > 8000$).

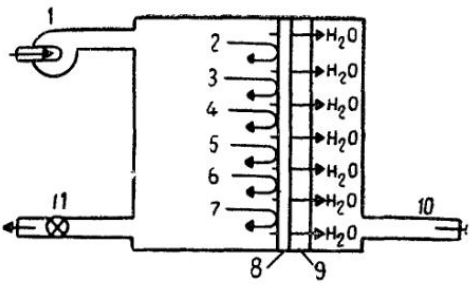


Рис. 5 25. Принципиальная схема установки гиперфильтрации

1 — подача солоноватой воды или сточных вод на установку; *2* — соли; *3* — взвешенные вещества; *4* — бактерии; *5* — вирусы; *6* — красящие вещества; *7* — вещества, придающие привкус; *8* — полупроницаемая мембрана; *9* — поддерживающая мебрану конструкция; *10* — очищенная вода; *11* — сброс концентрированного стока

Степень задержания R, %, растворенного вещества определяет селективность мембраны

$$R = \frac{C_{исх} - C_ф}{C_{исх}} 100, \qquad (5.17)$$

где $C_{исх}$ — концентрация растворенного вещества в исходном растворе;
$C_ф$ — то же, в фильтрате.

Селективность мембраны принято определять по задержанию NaCl из 0,5%-ного раствора этой соли. При очистке сточных вод от эмульгатора ОП-7 селективность мембраны практически достигает 99%. Давление при этом поддерживалось на уровне 5 МПа, температура исходного раствора была в пределах 18—20° С.

Полученный фильтрат в зависимости от местных условий может быть спущен в водоем или направлен в систему оборотного водоснабжения. При необходимости может быть установлена вторая ступень гиперфильтрационной установки. Концентрат подвергают повторной обработке или направляют на сжигание.

Применение метода гиперфильтрации в молочной промышленности США позволило разрешить проблему извлечения ценных веществ из сыворотки, так как с помощью этого метода можно задержать 95% лактозы, 50% неорганических солей и снизить БПК на 90%. Использование полученных продуктов в качестве корма для скота в значительной степени окупило расходы на очистку воды.

В целлюлозно-бумажной промышленности промывные воды цехов отбеливания содержат 1% взвешенных частиц, имеют высокую БПК и цветность. Метод гиперфильтрации позволил снизить БПК на 95%. Полученная вода по своим качествам была пригодна как для сброса в реку, так и для повторного использования. Концентрат содержал 10% взвешенных веществ, и его выпаривание при этом стало экономичным.

Осаждение взвешенных веществ в гидроциклонах. По гидравлическим условиям работы различают два основных вида гидроциклонов: напорные и открытые (низконапорные). Напорные гидроциклоны применяются для выделения из сточных вод грубодисперсных оседающих примесей, открытые гидроциклоны — для выделения из сточных вод не

только оседающих, но и всплывающих веществ. Разделение взвешенных частиц происходит под действием центробежных сил.

Напорный гидроциклон представляет собой металлический аппарат конической формы (рис. 5.26, *а*). Сточная вода подается под давлением под крышку гидроциклона по трубе, присоединенной тангенциально к цилиндрической части. Песок и шлам отводят через нижнее отверстие, а осветленную воду — через верхний сливной патрубок.

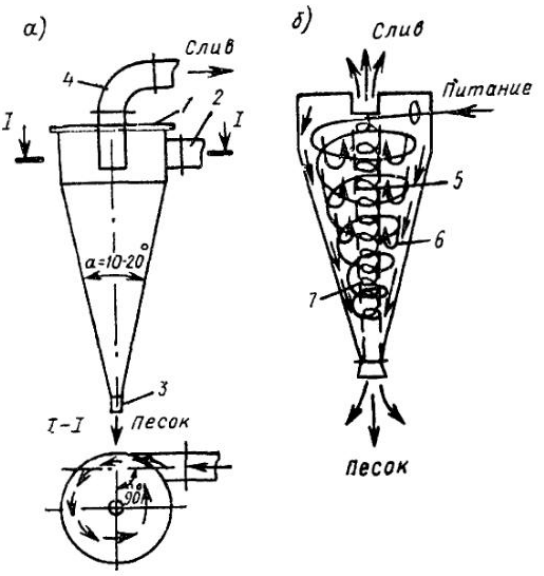


Рис. 5.26. Напорный гидроциклон

1 — крышка; *2* — труба; *3* — отверстие; *4*—сливной патрубок; *5* — внутренний винтовой поток; *6* — внешний винтовой поток; *7* — воздушный столб

Под влиянием центробежной силы, создаваемой водой, поступающей через трубу, расположенную касательно к корпусу циклона, твердые частицы отбрасываются к стенкам гидроциклона, а затем опускаются к нижнему отверстию. В гидроциклоне возникают два основных винтовых потока (рис. 5.26, *б*): внешний, направленный к вершине конуса, и внутренний, направленный в противоположную сторону. По оси гидроциклона образуется воздушный столб.

Благодаря тому что центробежная сила значительно превосходит силу тяжести, гидроциклоны могут работать в вертикальном, наклонном и горизонтальном направлениях.

Производительность гидроциклона по осветленной воде может быть приближенно определена по формуле

$$q_{осв} = 0{,}24 \frac{d_{сл}}{d_{п}} \alpha\omega \sqrt{2g\Delta H}, \qquad (5.18)$$

где $d_{п}$, $d_{сл}$ — соответственно эквивалентные диаметры питательного (входного) и сливного (выходного) патрубков гидроциклона, м;

α — коэффициент, учитывающий потерю воды с осадком ($\alpha = 0{,}85—0{,}9$);

ω — площадь живого сечения входного отверстия, м^2;

g — ускорение свободного падения, м/с^2;

ΔH — потеря напора в гидроциклоне, м.

Вода может подаваться в гидроциклон и отводиться из него через один или несколько патрубков. Необходимый напор составляет 5—10 м. При меньшем напоре может образоваться воздушный столб.

В зависимости от требуемой пропускной способности устанавливают одиночные гидроциклоны или группу из нескольких параллельно включенных гидроциклонов. Для более высокого эффекта осветления включают последовательно два и более напорных гидроциклонов.

Расчет гидроциклонов сводится к определению двух основных показателей их работы: пропускной способности и крупности частиц задерживаемых примесей.

Расчетная гидравлическая крупность частиц, которые необходимо выделить в соответствии с требуемой степенью осветления, определяется по графику кинетики процесса осаждения.

Напор насосов определяется с учетом напора в гидроциклоне и трубопроводах.

В качестве примера расчета напорных гидроциклонов для выделения окалины из сточных вод прокатных производств составлен сводный график, приведенный на рис. 5.27.

По графику $Э=f(u)$ определяют гидравлическую крупность частиц, которые необходимо выделить из воды (I четверть); по графику $u=f(H)$ — необходимое давление перед гидроциклоном выбранного диаметра (II четверть); по графику $Q=f(H)$ — производительность одного аппарата (III четверть), после чего подсчитывают их число; потерю воды с пульпой, %, определяют по графикам $(q_п/Q)\ 100=f(Q)$ (IV четверть).

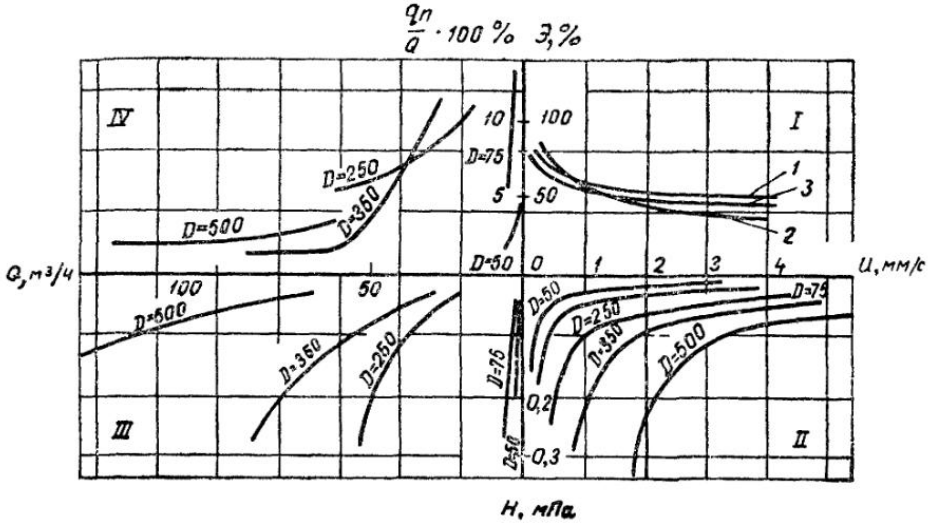


Рис. 5.27. Сводный график для расчета напорных гидроциклонов

1 — крупносортные прокатные станы (C_0=150 мг/л); *2* — средне- и мелкосортные прокатные станы (C_0=300 мг/л); *3* — листопрокатные станы (C_0=200 мг/л)

При помощи гидроциклонов можно выделить фракции с гидравлической крупностью менее 1 мм. Для повышения эффекта работы гидроциклона рекомендуется уменьшать угол конусности до 10°; некоторые исследователи рекомендуют повышать скорость воды при входе.

Таблица 58

Конструктивные и технологические параметры напорных гидроциклонов

Гидравлическая крупность частиц, задерживаемых гидроциклоном, мм/с		Диаметр цилиндрической части гидроциклона, мм	Размеры элементов в долях диаметра цилиндрической части				Потеря напора в гидроциклоне, м	Пропускная способность одного аппарата, м³/ч	Потери воды с пульпой, % от количества поступающей воды
плотность 2—3,5 г/см³, исходная концентрация 2000—4000 мг/л	плотность 5 г/см³, исходная концентрация 200—800 мг/л		эквивалентный диаметр впуска	диаметр сливной насадки	диаметр шламовой насадки	высота цилиндрической части			
1,7—1	0,25—0,2	50	0,28	0,4	0,12	1	10—15	3—4	2—3
2,1—1,3	0,4—0,3	75	0,24	0,27	0,12	1	15—20	5—6	3—5
3,7—2,7	0,5—0,4	250	0,2	0,23	0,1	0,7	15—25	46—53	5—7
4,6—3,6	1,1—0,8	350	0,18	0,22	0,07	0,88	20—30	75—85	2—3
4,8—4,3	2—1,8	500	0,13	0,22	0,05	0,8	25—35	85—90	1,5—2

Конструктивные и технологические параметры напорных гидроциклонов для сточных вод, содержащих 0,2—4 г/л взвешенных частиц плотностью 2—5 г/см³, приведены в табл. 5.8.

Преимуществом напорных гидроциклонов является возможность осветления воды по замкнутой схеме.

Основными недостатками напорных гидроциклонов являются значительный расход электроэнергии и быстрый износ стенок аппарата. Для предотвращения износа производится футеровка гидроциклонов износостойкими материалами.

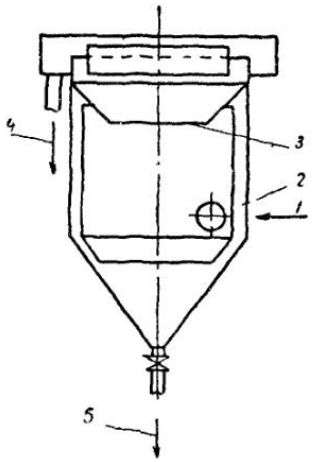


Рис. 5.28. Открытый гидроциклон с внутренним цилиндром и диафрагмой

1 — исходная вода; *2* — внутренний цилиндр; *3* — диафрагма; *4* — осветленный поток воды; *5* — выделившийся осадок

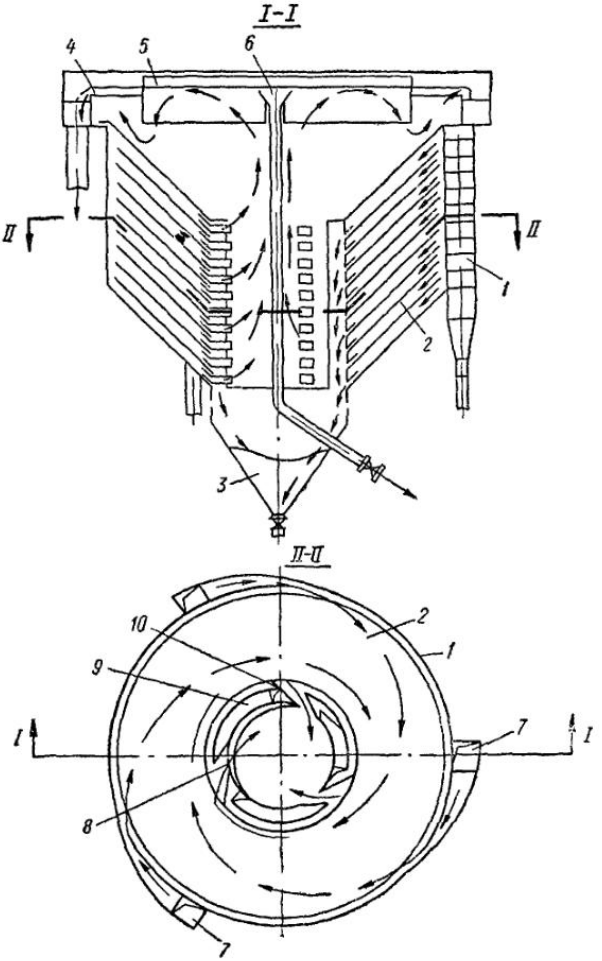


Рис. 5.29. Многоярусный низконапорный гидроциклон

1 — корпус; *2* — разделительные тарелки; *3* — бункер для шлама; *4* — водосливная кромка; *5*—маслоудерживающий щит; *6* — воронка для отвода масла; *7* — впускные камеры; *8* — насадки для отвода воды; *9* — шламоприемные щели; *10* — окна для отвода масла

Кроме напорных гидроциклонов находят применение открытые гидроциклоны (безнапорные). Процесс разделения сточных вод в открытых гидроциклонах происходит также под действием гравитационных и центробежных сил, поэтому удельные гидравлические нагрузки на поверхность циклона значительно превышают нагрузки на обычный гравитационный отстойник.

Открытые гидроциклоны без внутренних устройств применяются для очистки сточных вод от крупных примесей гидравлической крупностью 5 мм/с и более.

Открытый гидроциклон с внутренним цилиндром и диафрагмой в верхней части (рис. 5.28) рекомендуется к применению при очистке сточных вод от примесей гидравлической крупностью 0,2 мм/с и более, а также коагулированных взвешенных частиц и нефтепродуктов при расходе стоков до 200 м³/ч на один аппарат.

Исходная вода подается тангенциально в пространство, ограниченное внутренним цилиндром. Поток по спирали движется вверх, у верхней кромки цилиндра он поворачивает и движется к отверстию в диафрагме. Диафрагма, установленная в конце горизонтального отстойника, препятствует выносу выделившегося осадка, движущегося в пристенной зоне. Внутренний цилиндр способствует образованию замкнутого циркуляционного потока, который транспортирует этот осадок в коническую часть. Осветленный поток воды выходит из-под диафрагмы, переливается через водослив в кольцевой лоток и отводится за пределы сооружения.

Выделившийся осадок либо накапливается в конической части, либо удаляется из нее непрерывно через нижнее разгрузочное отверстие.

Пропускная способность аппарата этой конструкции примерно в 2—2,5 раза выше пропускной способности отстойников при одинаковой степени очистки.

При проектировании гидроциклона диаметр D и рабочая высота H цилиндрической части принимаются 0,5—9 м, диаметр отверстия в диафрагме — 0,5 D, диаметр внутреннего цилиндра — 0,85 D, высота внутреннего цилиндра — 0,8 D. Две-три впускные насадки, тангенциально присоединенные к нижней части перегородки, имеют каждая диаметр (0,05...0,07) D. Угол конуса диафрагмы принимается равным 45°. Угол наклона образующей конической поверхности нижней части гидроциклона следует принимать равным не менее 60° С.

Другой, более производительной конструкцией является многоярусный низконапорный гидроциклон (рис. 5.29). Этот аппарат может быть применен для очистки сточных вод от крупно- и мелкодисперсных примесей гидравлической крупностью 0,2 мм/с и более при расходе воды более 200 м³/ч на один аппарат, для очистки воды от минеральной коагулированной взвеси и нефтепродуктов.

При конструировании этого сооружения использован принцип тонкослойного отстаивания, который осуществлен делением объема гидроциклона коническими диафрагмами на отдельные ярусы. Впуск воды в гидроциклон осуществляется тангенциально из специальных аванкамер по всей высоте цилиндрической части через щели. Каждый ярус аппарата, как показали исследования, работает независимо от другого.

На Кировском заводе построена гидроциклонная установка, состоящая из четырех десятиярусных гидроциклонов диаметром 5 м. Полная пропускная способность установки 1800 м³/ч.

При проектировании многоярусных гидроциклонов количество ярусов принимается равным 4—20, диаметр гидроциклона 2—6 м, диаметр центрального отверстия в диафрагме 0,5—1,4 м, расстояние между ярусами по вертикали 200—300 мм. В каждом ярусе устраиваются три впускных тангенциальных насадки (через 120° по окружности), скорость выхода воды из насадок — 0,3—0,5 м/с. Угол наклона диафрагм принимается равным углу естественного откоса шлама в воде, но не менее 45°. Общая гидравлическая нагрузка на многоярусный гидроциклон пропорциональна числу ярусов.

Удельная гидравлическая нагрузка м³/(м²·ч) открытых гидроциклонов рассчитывается по формуле

$$q = 3{,}6\, k u_0, \qquad (5.19)$$

где u_0 — гидравлическая крупность задерживаемых частиц, мм/с;

k — коэффициент, зависящий от вида гидроциклона. Для гидроциклонов без внутренних устройств $k=0{,}61$, для гидроциклонов с диафрагмой и внутренним цилиндром $k=1{,}98$, для многоярусных гидроциклонов $k=\frac{D^2-d^2}{D^2}$ (D — диаметр многоярусного гидроциклона, м, d — диаметр центрального отверстия в диафрагме, м).

Потери напора в гидроциклонах принимаются 0,5 м.

Шлам из гидроциклонов удаляется механизированными подъемниками, гидроэлеваторами или под гидростатическим давлением. Для задерживания всплывающих примесей и нефтепродуктов служит кольцевой полупогруженный щит перед водосливом, установленный на расстоянии не более 50 мм. Удаление всплывающих примесей производится через погружную воронку.

Для обработки сточных вод могут быть применены центрифуги осадительного и осветляющего типов, однако использование центрифуг в практике осветления сточных вод ограничивается их большой энергоемкостью и малой производительностью. В настоящее время проводятся исследования по изысканию наиболее эффективных и экономичных конструкций центробежных аппаратов.

§ 140. ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Для химической очистки производственных сточных вод в настоящее время используются различные реагенты. Наибольшее применение имеют: окислители — хлор, перманганат калия, озон; подщелачивающие вещества — известь, гидроксид натрия, сода; подкисляющие вещества — серная и соляная кислоты.

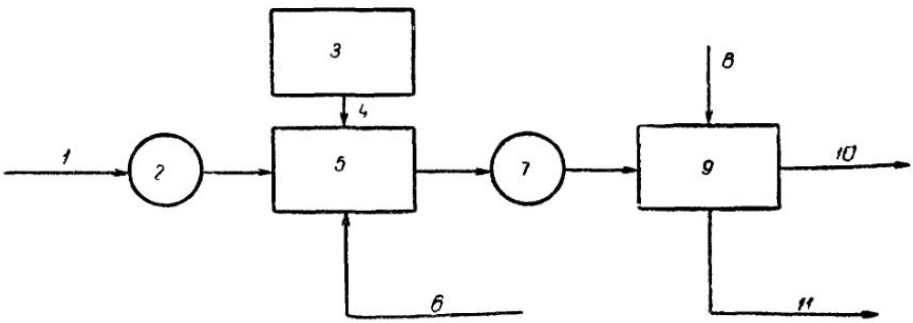


Рис. 5.30. Схема реагентной очистки производственных сточных вод

1 — сточные воды обработки цветных металлов, *2* — усреднитель; *3* — реагентное хозяйство; *4* — подача реагентов, *5* — смеситель; *6* — нейтрализованные хромистые и щелочные сточные воды; *7*—контактный резервуар, *8* — полиакриламид, *9* — отстойники; *10* — очищенная вода, *11* — шлам на обезвоживание

В ряде случаев химическая обработка требуется в качестве предварительной перед последующей биологической очисткой этих сточных вод.

Принципиальная схема реагентной очистки производственных сточных вод показана на рис. 5.30.

Окисление загрязняющих сточные воды веществ применяется в тех случаях, когда эти вещества нецелесообразно или нельзя извлечь или разрушить другими способами, в том числе путем биохимического окисления. К таким веществам относятся цианистые соединения, загрязняющие сточные воды многих производств, например сточные воды фабрик обогащения свинцово-цинковых и медных руд, цехов гальванических покрытий машиностроительных заводов и т. д.

Для очистки сточных вод от цианистых соединений применяют окисление циан-иона CN^- до безвредного цианата CNO^- или переводят токсичные соединения в нетоксичный комплекс или осадок (в виде нерастворимых цианидов), удаляемый из сточных вод отстаиванием или фильтрованием.

Окисление цианидов до малотоксичных цианатов может быть произведено относительно недорогим окислителем— гипохлоритом в щелоч-

ной среде при значении pH = 10...11. В качестве реагента, содержащего гипохлорит — ион OCl^-, служат хлорная известь, гипохлорит кальция или гипохлорит натрия. Между гипохлоритом и цианидами протекают следующие реакции:

в случае простых ядовитых растворимых цианидов

$$CN^- + OCl^- \rightarrow CNO^- + Cl^-,$$

для комплексных ядовитых растворимых цианидов (меди и цинка):

$$2Cu(CN)_3^{2-} + 7OCl^- + 2OH^- + H_2O \rightarrow 6CNO^- + 7Cl^- + \underline{2Cu(OH)_2}\downarrow$$

$$Zn(CN)_4^{2-} + 4OCl^- + 2OH^- \rightarrow 4CNO^- + 4Cl^- + \underline{Zn(OH)_2}\downarrow.$$

Образующиеся цианаты легко гидролизуются в воде до совершенно безвредных и нетоксичных карбонатов и аммиака.

$$CNO^- + 2H_2O \rightarrow CO_3^{2-} + NH_4^+.$$

Как видно из первой реакции, на 1 циан-ион требуется 1 гипохлорит-ион. Так как молекулярная масса хлора равна 71, а циана — 26, то на 26 ч. циана требуется 71 ч. активного хлора, соответственно на 1 ч. циана требуется 2,73 ч. активного хлора (это число показывает необходимое по реакции количество активного хлора для окисления растворимого ядовитого циан-иона до цианат-иона). Следовательно, если в сточной воде концентрация цианидов равна B мг/л, то требуемое теоретически по реакции количество активного хлора x_{Cl} равно:

$$x_{Cl} = B \cdot 2{,}73. \tag{5.20}$$

Из второй реакции видно, что на 6 комплексных циан-ионов меди требуется 7 гипохлорит-ионов, откуда искомый коэффициент равен $71 \cdot 7 : 26 \cdot 6 = 3{,}18$. Следовательно, если в сточной воде содержится C мг/л комплексных цианидов меди в пересчете на циан, то требуемое теоретически по реакции количество активного хлора x_{Cl} равно:

$$x_{Cl} = C \cdot 3{,}18. \tag{5.21}$$

Для комплексных цианидов цинка из третьей реакции следует, что для окисления 4 циан-ионов необходимо 4 гипохлорит-иона, т. е. коэффициент пропорциональности, так же как и для простых ядовитых растворимых цианидов, равен 2,73.

При наличии в сточной воде простых цианидов в концентрации B мг/л, комплексных цианидов меди в концентрации C мг/л теоретически необходимое на 1 циан количество активного хлора для окисления их до цианатов равно сумме:

$$x_{Cl} = B \cdot 2{,}73 + C \cdot 3{,}18. \tag{5.22}$$

Товарная хлорная известь содержит около 20—25% активного хлора, а гипохлорит кальция — до 60%. Требуемое количество реагента X, кг/сутки, определяют по формуле

$$X = \frac{x_{Cl} Qn}{a \cdot 10} = \frac{x_{Cl}\, Qn \cdot 100}{a \cdot 1000}, \tag{5.23}$$

где x_{Cl} — количество активного хлора, необходимое для окисления цианидов и подсчитанное по ранее приведенным формулам, мг/л или г/м³;

Q — количество цианосодержащих сточных вод, м³/сутки;

n — коэффициент избытка реагента, принимаемый обычно равным 1,2—1,3;

a — содержание активного хлора в товарной хлорной извести или гипохлорите кальция, %.

Однако при проведении реакции окисления цианидов гипохлорит-ионом окислитель может расходоваться не только на цианиды, но и на окисление других веществ, присутствующих в сточной воде. Поэтому значение коэффициента n должно быть найдено для конкретной сточной воды путем пробного ее хлорирования.

Рабочий раствор реагента обычно приготовляют в виде 5%-ной концентрации по активному хлору.

Технологическая схема автоматически работающей установки для обезвреживания сточных вод цеха гальванических покрытий на одном из заводов приведена на рис. 5.31.

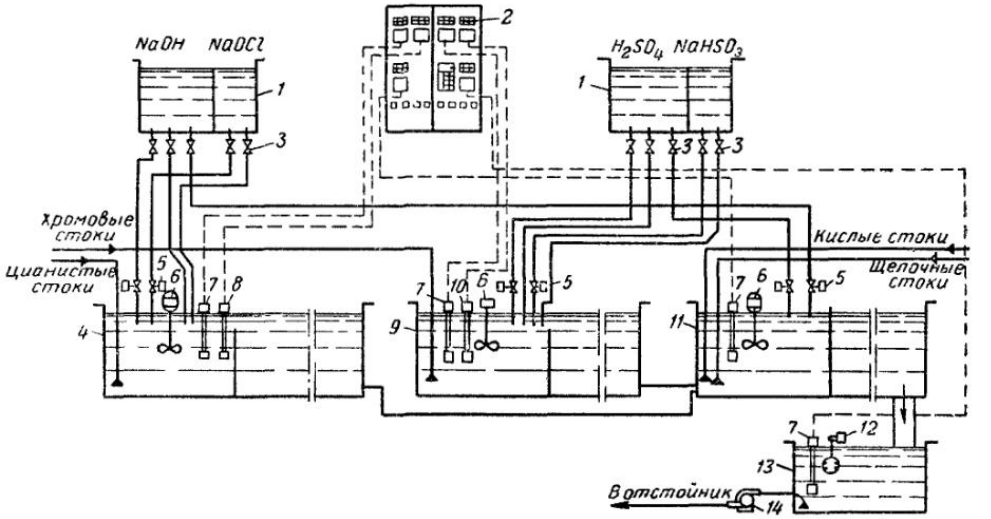


Рис 5 31. Технологическая схема автоматизированной установки для обезвреживания сточных вод цеха гальванических покрытий

1 — баки для реагентов; *2* — щит управления и автоматики; *3* — вентили ручного дозирования реагентов; *4* — резервуар для цианистых стоков; *5* — регулирующие вентили; *6* — лопастные мешалки; *7* — датчик pH-метра, *8* — датчик концентрации цианидов; *9* — резервуар для хромовых стоков; *10* — датчик концентрации хрома; *11* — резервуар-нейтрализатор; *12* — поплавковый регулятор; *13* — резервуар для обезврежеиных сточных вод; *14* — насос для перекачки обезвреженных сточных вод

Сточные воды цеха разделены на три группы: первая — содержащие 5—50 мг/л цианидов, вторая — 17—105 мг/л шестивалентного хрома Cr^{6+}, третья — кислоты и щелочи.

Каждая группа стоков поступает в отдельный резервуар, рассчитанный на 30—40-минутное пребывание в нем стоков. Часть его полезной емкости (10—15%) является камерой смешения, куда автоматически подаются реагенты, в том числе щелочи и кислоты для поддержания постоянной величины pH. В резервуаре для цианистых стоков pH = 10,5, для хромовых стоков pH = 2,5.

Обезвреженные и нейтрализованные стоки направляются в отстойник. Стоки, содержащие простые и комплексные соединения циана, обезвреживаются гипохлоритом натрия.

Обезвреживание хрома в основном происходит в той же технологической последовательности, что и обезвреживание циана.

В качестве реагента для восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} используется гидросульфит натрия. Реакция идет сначала в кислой среде. В последующем в щелочной среде Cr^{3+} выпадает в осадок в виде $Cr(OH)_3$.

Осаждение гидроксида хрома происходит в отстойнике.

Остаточные концентрации цианидов и хрома в очищенной воде не превышают допустимых санитарными нормами.

Электрохимическое окисление. Электрохимическая обработка производственных сточных вод применяется либо в целях разрушения содержащихся в них вредных веществ путем их электрохимического окисления на аноде, либо в целях извлечения металлов, кислот и других веществ, содержащихся в отработанных растворах.

Так, например, при обработке сточных вод цехов гальванических покрытий и полиметаллических рудообогатительных фабрик, содержащих комплексные цианиды меди, на катодах выделяется 60—70% металлической меди.

Электролиз отработанных травильных растворов, содержащих $FeSO_4$ и свободную H_2SO_4, с применением анионитовых мембран дает возможность регенерировать 80—90% H_2SO_4 и получить порошкообразное металлическое железо (25—50 кг из 1 м³ растворов).

Очищенные в результате электролиза растворы можно полностью использовать при приготовлении свежих травильных растворов и растворов H_2SO_4, загружаемых в анодные камеры электролитической ванны перед следующим циклом очистки.

При обработке концентрированных сточных вод (содержание CN более 1 г/л) электрохимический способ значительно дешевле реагентного.

Озонирование. Применение озона для обработки производственных сточных вод обусловлено необходимостью разработки методов глубокой очистки сточных вод с целью их повторного использования.

Высокая реакционная способность озона вступать во взаимодействие со многими минеральными и органическими соединениями, сильное окислительное действие, возможность получения его прямо на станции из кислорода воздуха обусловливают перспективность применения озона в качестве реагента.

Кроме того, озонирование не приводит к увеличению солевого состава очищенной воды, не загрязняет воду продуктами реакции и другими примесями. Это важно при повторном использовании воды для технологических нужд.

Окислительное действие озона объясняется легкостью отдачи им атома кислорода. Под действием озона почти все металлы переходят в окислы.

В процессе обработки сточной воды озон, подаваемый в реактор в виде озоно-воздушной смеси, диспергированной на мельчайшие пузырьки, вступает в химические реакции. Озонирование представляет собой процесс абсорбции, осложненный химической реакцией в жидкой фазе.

Основным промышленным способом получения озона является его синтез из кислорода воздуха под действием электрического разряда в генераторе озона.

На рис. 5.32 представлена принципиальная технологическая схема озонаторной установки для глубокой очистки производственных сточных вод. Установка состоит из двух самостоятельных узлов: узла получения озона и узла очистки сточных вод.

Узел получения озона состоит из блока подготовки воздуха — очистки и осушки и блока получения озона.

Блок подготовки воздуха включает следующие аппараты: фильтры, теплообменники трубчатого типа, влагоотделитель, осушительную установку.

Кислород или воздух охлаждается в теплообменниках до 6° С и, попадая во влагоотделитель, частично освобождается от капельной влаги. На выходе из влагоотделителя установлен войлочный фильтр.

Для устойчивой работы озонатора предусматривается осушительная установка типа УОВ, которая обеспечивает осушку газа перед озонаторами до содержания влаги 0,05—0,1 г/м³.

Охлажденный, обеспыленный и освобожденный от влаги воздух

поступает в генератор озона, где под действием тихого электрического разряда образуется озон. При пуске озонаторов первые 15—20 мин они работают «на свечу» до установления нормального режима, а затем переключаются на подачу озоно-воздушной смеси в реакторы.

Сточная вода, прошедшая предварительную очистку на биохимических сооружениях, самотеком или с помощью насосов поступает в контактные резервуары, в которые подается озонированный воздух. Для более полного использования озона и предотвращения попадания его в окружающую среду рекомендуется применение двух последовательно работающих реакторов. При этом обедненная озоно-воздушная смесь

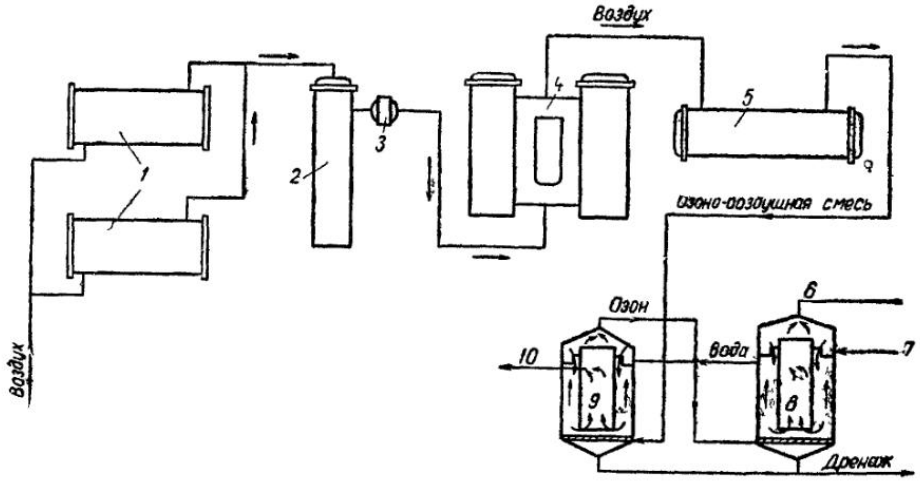


Рис 5 32. Технологическая схема озонаторной установки

1 — теплообменники, *2* — влагоотделитель, *3* — войлочный фильтр, *4* — осушительная установка; *5* — генератор озона, *6* — отвод отработанного газа, *7* — впуск сточной воды, *8* — предварительный реактор, *9* — основной реактор, *10* — выпуск очищенной воды

из основного реактора подается в предварительный реактор, где вступает в контакт со свежими порциями воды. Благодаря этому обеспечивается почти полная абсорбция озона водой. В предварительном реакторе протекают преимущественно процессы окисления органических веществ, содержащихся в сточной воде. В основном же реакторе, наряду с процессом окисления, начинается интенсивное стерилизующее действие озона. В верхней части этого реактора при противоточном движении превалируют окислительные процессы, а в нижней части, над фильтросными пластинами, вода максимально очищается.

Для диспергирования озонированного воздуха в сточной воде используют перфорированные трубы или фильтросные пластины.

В качестве запорной арматуры применяются вентили из нержавеющей стали диафрагменного типа, футерованные фторопластом.

При конструировании озонаторной установки важно правильно подобрать объем реакторов.

Общий объем реакторов определяется по формуле

$$W = \eta Q t, \tag{5.24}$$

где Q — количество сточной воды, м³/ч;

t — продолжительность пребывания сточной воды в реакторах, ч, определяемая скоростью химической реакции или скоростью массообмена;

η — коэффициент увеличения объема воды при продувке, принимаемый равным 1,1.

Рабочую высоту одного реактора (высоту слоя жидкости в реакторе) рекомендуется принимать при двух последовательно работающих реакторах в пределах 2,5—2,8 м.

Необходимое количество озона, кг/сутки, определяется по формуле

$$D_{оз} = \frac{QC}{1000}, \qquad (5.25)$$

где Q — расход воды, обрабатываемой озоном, м³/сутки;

C — необходимая доза озона, г/м³.

Количество озонаторов определяется исходя из производительности серийно выпускаемых озонаторов

$$n = \eta \frac{D_{оз}}{q_{оз}}, \qquad (5.26)$$

где $D_{оз}$ — необходимое количество озона для обработки сточной воды, кг/ч;

$q_{оз}$ — производительность одного озонатора, кг/ч;

η — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,05—1,1.

Расход электроэнергии на синтез озона, без учета затрат на вспомогательные процессы, при условии использования в качестве сырья атмосферного воздуха, составляет в среднем 18 кВт·ч на 1 кг озона. В случае применения кислорода в качестве сырья для синтеза озона затраты электроэнергии снижаются вдвое.

Рассмотренная технологическая схема предусматривает использование очищенной воды для производственного водоснабжения или спуск озонированных сточных вод в водоем с гарантией сохранения его чистоты, так как полностью обеспечиваются санитарные требования по всем показателям.

Озонирование пока не получило широкого применения из-за его сравнительно высокой стоимости, что обусловлено в основном низким выходом озона на современных генераторах. Усовершенствование техники получения озона и более полное его использование снизят энергетические затраты на производство озона и повысят экономическую эффективность процесса в целом.

Нейтрализация. Производственные сточные воды многих отраслей промышленности содержат кислоты и щелочи. Интенсивность кислотной или щелочной реакции воды определяется показателем концентрации водородных ионов — значением pH. Для предупреждения коррозии материалов канализационных сооружений и нарушения биохимических процессов, происходящих в очистных сооружениях и в водоемах, такие воды подвергаются нейтрализации. Нейтрализация нередко производится также в целях осаждения из сточных вод солей тяжелых металлов.

Во всех случаях учитывают возможность взаимной нейтрализации кислот и щелочей, сбрасываемых со сточными водами, а также щелочной резерв бытовых сточных вод и нейтрализующую способность воды водоемов. Практически нейтральной принято считать смесь с величиной pH в пределах 6,5—8,5, поэтому сточные воды, pH которых ниже 6,5 или выше 8,5, перед отведением в городскую канализацию или в водоем подлежат нейтрализации.

Процесс нейтрализации осуществляется в нейтрализаторах проточного или контактного типа, которые могут конструктивно объединяться с отстойниками.

При благоприятных местных условиях осветление нейтрализованной сточной воды может производиться в накопителях, рассчитываемых на хранение в них осадка в течение 10—15 лет.

Выбор способа осветления (в отстойниках, осветлителях или накопителях) производится на основе технико-экономических расчетов.

Объем выпадающего осадка зависит от концентрации в нейтрализуемой сточной воде кислоты и ионов тяжелых металлов, а также от вида и дозы реагента, от полноты осветления и т. д. Наибольшее количество осадка выпадает при нейтрализации сточной воды известковым молоком, приготовленным из товарной извести, которая содержит 50% активной окиси кальция.

Количество осадка, образующегося при нейтрализации 1 м³ сточной воды, содержащей свободную серную кислоту и соли тяжелых металлов, ориентировочно можно определить по формуле

$$M = \frac{100 - a}{a}(X_1 + X_2) + X_3 + (Y_1 + Y_2 - 2), \qquad (5.27)$$

где M — количество сухого вещества, кг/м³;
X_1 — количество активной CaO, необходимой для осаждения металлов, кг/м³;
X_2 — количество активной CaO, необходимой для нейтрализации свободной серной кислоты, кг/м³;
X_3 — количество образующихся гидроксидов металлов, кг/м³;
Y_1 — количество сульфата кальция, образующегося при осаждении металлов, кг/м³;
Y_2 — количество сульфата кальция, образующегося при нейтрализации свободной серной кислоты, кг/м³;
a — содержание активной CaO в используемой извести, % (третий член в формуле не учитывается, если значение его отрицательно).

Объем осадка, образующегося при нейтрализации 1 м³ сточной воды, определяется по формуле

$$P_{ос} = \frac{10M}{100 - P_{вл}}, \qquad (5.28)$$

где $P_{ос}$ — объем осадка, выделившегося из 1 м³ нейтрализуемой воды, %;
$P_{вл}$ — влажность осадка, %.

При нейтрализации солянокислых сточных вод травильных отделений протекают следующие реакции:

известковым молоком, тестом и сухой молотой известью:

$$4HCl + Ca(OH)_2 + CaCO_3 \rightarrow 2CaCO_3 + CO_2 + 3H_2O;$$

$$2FeCl_2 + Ca(OH)_2 + CaCO_3 \rightarrow Fe(OH)_2 + FeCO_3 + 2CaCl_2;$$

содопоташной смесью:

$$4HCl + Na_2CO_3 + K_2CO_3 \rightarrow 2NaCl + 2KCl + 2CO_2 + 2H_2O;$$

$$2FeCl_2 + Na_2CO_3 + K_2CO_3 \rightarrow 2FeCO_3 + 2NaCl + 2KCl;$$

кальцинированной содой:

$$2HCl + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O;$$

$$FeCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow FeCO_3 + 2NaCl;$$

гидроксидом натра:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O;$$

$$FeCl_2 + 2NaOH \rightarrow Fe(OH)_2 + 2NaCl.$$

В результате нейтрализации в осадок выпадает только железо в виде гидрата закиси или в виде карбоната.

Гидрат закиси железа имеет зеленую окраску, растворимость его составляет $4{,}5 \cdot 10^{-4}$ г/л. Карбонат железа выпадает в виде серого осадка. Во влажном состоянии он быстро зеленеет, а затем буреет вследствие

гидролиза и окисления с образованием гидроксида железа. Растворимость карбоната железа $5{,}79 \cdot 10^{-4}$ г/л. Остальные продукты нейтрализации, а также избыток вводимых реагентов остаются в растворе, повышая солесодержание нейтрализованных стоков.

На основании стехиометрических соотношений реакций нейтрализации необходимые дозы реагентов могут быть определены по формулам, г/л:

$$\left.\begin{aligned} Д_{Na_2CO_3+K_2CO_3} &= \frac{100K_1}{A_1}(1{,}67HCl+0{,}96FeCl_2);\\ Д_{Na_2CO_3} &= \frac{100K_2}{A_2}(1{,}45HCl+0{,}84FeCl_2);\\ Д_{NaOH} &= \frac{100K_3}{A_3}(1{,}1HCl+0{,}63FeCl_2);\\ Д_{Ca(OH)_2+CaCO_3} &= \frac{100K_4}{A_4}(0{,}77HCl+0{,}44FeCl_2), \end{aligned}\right\} \quad (5.29)$$

где $K_1, ..., K_4$ — коэффициент запаса расхода реагента по сравнению с теоретическим;

$A_1, ..., A_4$ — активность товарных реагентов, определяется анализом, %;

HCl и $FeCl_2$ — концентрация соляной кислоты и хлорида железа в стоках, определяемая анализом, г/л.

Расчетные данные по расходу кислоты для нейтрализации щелочи приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Количество кислот, требуемое для нейтрализации 1 г щелочи

Щелочь	Колнчество 100%-ной кислоты, г		
	H_2SO_4	HCl	HNO_3
Гидроксид натрия . .	1,22	0,91	1,57
Гидроксид калия . . .	0,88	0,65	1,13
Известь гашеная . . .	1,32	0,99	1,7

Нейтрализация производственных сточных вод реагентами затруднена тем, что состав и приток сточной воды на установку резко колеблются в течение суток. Вместо устройства усреднителей большой вместимости в этих условиях следует применять автоматическое регулирование подачи реагентов. За регулируемый параметр во многих случаях может быть взята величина pH сточной воды. Для измерения pH поступающих сточных вод следует применять погружные датчики, которые в меньшей степени подвержены засорению. Для измерения pH очищенных стоков могут применяться проточные датчики.

Нейтрализация путем смешения кислых стоков со щелочными. Режимы сброса сточных вод, содержащих кислоту и отработавшую щелочь, на заводах, как правило, различны. Кислые воды обычно сбрасываются в канализацию равномерно в течение суток и имеют постоянную концентрацию; щелочные воды сбрасываются периодически один или два раза за смену по мере того, как срабатывается щелочной раствор. В связи с этим для щелочных вод часто необходимо устраивать регулирующий резервуар, объем которого должен быть достаточным, чтобы принять суточное количество щелочных вод. Из резервуара щелочные воды должны равномерно выпускаться в камеру, где в результате смешения их с кислыми водами происходит нейтрализация.

Баланс кислых и щелочных сточных вод составляется на период, в течение которого производится выпуск сточных вод от всех цехов и агрегатов, в том числе таких, от которых стоки спускаются периодически.

Нейтрализация стоков путем добавления реагента. Если сточные воды содержат больше кислоты или щелочи, чем может быть нейтрализовано при взаимодействии стоков, то добавляют соответствующие реагенты.

Этим методом наиболее часто пользуются для нейтрализации кислот. Обычно реагентом служат отходы местного производства, в частности шлам химводоочистки ТЭЦ (мел в шламовой воде) и другие отработавшие щелочи.

Для обезвреживания сточных вод, содержащих серную кислоту, и образующихся при травлении металлических изделий используются отходы металлургической промышленности: шлаки сталеплавильного, феррохромового и доменного производства. Основными компонентами этих шлаков являются соединения кальция — 30—59% (в пересчете на CaO), до 17% оксида магния и до 39% соединений кремния (в пересчете на SiO_2). Высокая дисперсность шлаков позволяет использовать их в естественном состоянии, минуя измельчение. Значительно меньшая стоимость шлаков по сравнению с известью обусловливает экономическую целесообразность их использования. Для нейтрализации применяют и другие реагенты. Выбор реагента производится в зависимости от характера нейтрализуемых сточных вод и их концентрации с учетом того, будут ли образующиеся при нейтрализации соли выпадать в виде осадка или оставаться в растворе.

Для нейтрализации минеральных кислот применяют любой щелочной реагент, дающий в растворе гидроксил-ионы OH^-; чаще всего применяют едкие, углекислые и двууглекислые щелочи. Наиболее дешевыми реагентами являются $Ca(OH)_2$ (в виде пушонки или известкового молока), а также карбонаты кальция и магния (в виде дробленого мела, известняка и доломита). Гидроксид натрия и соду применяют только в тех случаях, когда эти реагенты являются отходами местного производства.

В качестве реагентов для нейтрализации органических жирных кислот применяют известь, содержащую не менее 25—30% активного оксида кальция, или смесь извести с 25%-ной технической аммиачной водой (NH_4OH). Добавление аммиака способствует последующей биологической очистке этих вод и снижает содержание известкового шлама.

Различают три вида кислотосодержащих сточных вод:

воды, содержащие сильные кислоты (HCl, HNO_3), кальциевые соли которых хорошо растворимы в воде; для нейтрализации этих кислот может быть использован любой из указанных выше реагентов;

воды, содержащие сильные кислоты (H_2SO_4, H_2SO_3), кальциевые соли которых трудно растворимы в воде;

воды, содержащие слабые кислоты (H_2CO_3, CH_3COOH).

При нейтрализации сильных кислот, кальциевые соли которых трудно растворимы в воде, эти соли не только выпадают в осадок, но при больших концентрациях могут отлагаться на поверхности нейтрализующего материала, что тормозит ход реакции.

Наиболее часто приходится иметь дело с нейтрализацией серной кислоты; реакция нейтрализации в этом случае в зависимости от применяемого реагента протекает по уравнениям:

$$H_2SO_4+Ca(OH)_2=CaSO_4+2H_2O$$

и

$$H_2SO_4+CaCO_3=CaSO_4+H_2O+CO_2.$$

Растворимость сульфата кальция (гипса) $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ при 18° С составляет 2,02 г/л (в пересчете на $CaSO_4$ 1,6 г/л). При более высокой концентрации сульфат кальция выпадает в осадок.

При нейтрализации сильных кислот углекислыми солями образующаяся в результате реакции углекислота в свою очередь может вступить в реакцию с избытком $CaCO_3$ и привести к образованию гидрокарбоната кальция:

$$CO_2 + H_2O + CaCO_3 = Ca(HCO_3)_2.$$

Однако эта реакция протекает медленно, поэтому в течение того времени, в которое практически заканчивается нейтрализация сильных кислот, успевает прореагировать только незначительная часть углекислоты. Так же медленно, как и углекислота, реагируют с карбонатами и другие слабые кислоты.

Теоретическое количество оснований и солей, требуемых для нейтрализации кислоты, приведено в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Количество оснований и солей, г, требуемых для нейтрализации 1 г кислоты

Кислота	$Ca(OH)_2$	CaO	NaOH	$CaCO_3$	$MgCO_3$	Na_2CO_3
Азотная HNO_3	0,59	0,45	0,64	0,79	0,668	0,84
Соляная HCl	1,01	0,77	1,1	1,37	1,15	1,45
Серная H_2SO_4	0,755	0,57	0,82	1,02	0,86	1,08
Сернистая H_2SO_3 . . .	—	0,88	1,2	—	—	1,65
Пикриновая	0,169	0,122	0,175	0,218	—	0,231
Уксусная	0,616	0,466	0,666	0,83	—	0,81

Доза реагента определяется из условия полной нейтрализации свободной кислоты и принимается несколько больше расчетной. Так, например, при нейтрализации сернокислотных сточных вод известковым молоком доза активного оксида кальция берется на 10%, а при сухом дозировании — на 50% больше расчетной. Практически принимают: 1 мас. ч. извести на 1,5 мас. ч. серной кислоты и 1 мас. ч. на 1 мас. ч. соляной и азотной кислоты.

Для нейтрализации небольших количеств кислых вод (до 200 м^3/сутки) могут быть применены также растворы гидроксида натрия, соды и др.

В качестве реагента известь вводится в виде известкового молока (способ мокрого дозирования) или в виде сухого порошка (способ сухого дозирования); реже применяются мелкодробленый известняк, мел или доломит крупностью зерен не более 0,5 мм (способы сухого дозирования).

При производительности установки более 5 т/сутки нейтрализуемой кислоты при сухом дозировании выгоднее применять в качестве реагента известь-пушонку. Для установок с небольшим суточным количеством поступающей в сток серной кислоты (примерно до 5—7 т/сутки) более рациональной является нейтрализация известковым молоком (рис. 5.33).

В число основных сооружений установки входят: резервуары-усреднители кислых и щелочных стоков *1*; камеры реакции-нейтрализаторы *2*; отстойники для нейтрализованных сточных вод или накопители *3*, являющиеся одновременно отстойниками и емкостью для осадка; сооружения для обезвоживания осадков *4*; реагентное хозяйство (дозаторы *5*, растворные баки *6*, аппараты для гашения извести *7*, склад негашеной извести *8*).

На складах известь хранится в виде теста или в сухом виде в закрытых бункерах. Хранение сухой извести навалом не допускается.

Подача известкового теста из склада к месту приготовления известкового молока может производиться грейферным краном; подачу сухой извести следует производить закрытыми транспортерами и элеваторами для обеспечения минимального пыления.

Применение гашеной извести для нейтрализации предусматривается

в виде известкового молока 5%-ной концентрации по активной окиси кальция.

Для гашения извести и приготовления известкового молока используются безотходные известегасильные установки — шаровые мельницы с классификаторами или известегасильные машины.

Наиболее часто применяемая схема известкового хозяйства при сухом способе хранения извести приведена на рис. 5.34.

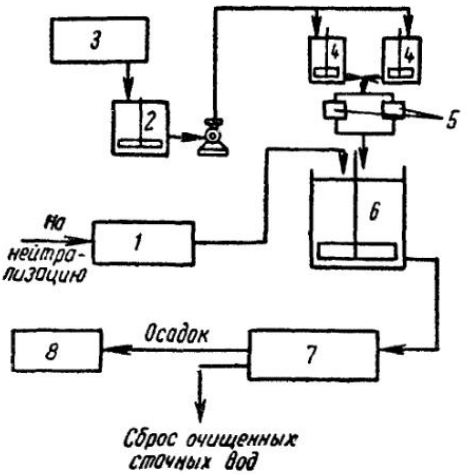


Рис. 5.33. Принципиальная схема нейтрализационной установки

1 — резервуары-усреднители; *2* — аппараты для гашения извести, *3* — склад негашеной извести; *4* — растворные баки, *5* — дозаторы; *6* — нейтрализаторы, *7* — отстойники, *8* — сооружения для обезвоживания осадков

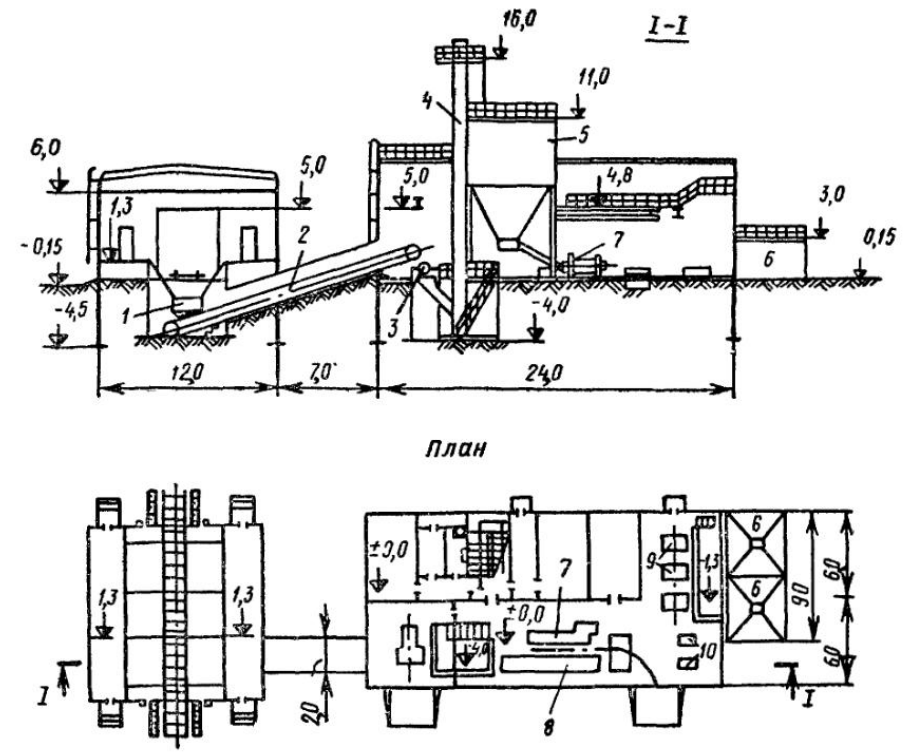


Рис 5.34. Механизированная установка для приготовления растворов извести производительностью 20 т/ч при сухом способе ее хранения

1 — пластинчатый питатель ППН-6, *2* — ленточный транспортер; *3* — дробилка молотковая; *4* — элеватор ковшовый, *5* — бункер дробленой извести, *6* — резервуар для хранения 5%-ного известкового молока; *7* — шаровая мельница; *8* — классификатор; *9* — насосы 6НФ; *10* — насосы 2НП

Поступающая комовая известь разгружается в приемный бункер. Отсюда с помощью пластинчатого питателя ППН-6 известь подается на транспортер и далее в дробилку.

Известковое молоко поступает в резервуар концентрированного молока и перекачивается насосами 2НП в расходные резервуары, где насосами типа НФ поддерживается во взвешенном состоянии. Эти же насосы подают известковое молоко на дозирование.

Дозирование извести осуществляется автоматическим дозатором в зависимости от расхода или величины pH очищаемой сточной воды.

При мокром способе хранения поступившая комовая известь загружается непосредственно в емкости для приготовления и хранения известкового теста; предварительно они наполняются до половины водой.

При определении полезного объема склада принимают, что из 1 объема извести получается 4 объема известкового теста плотностью 1,4 т/м^3.

Помещение склада извести не отапливается, так как сильно нагревшаяся при гашении известь остывает медленно.

По мере надобности известковое тесто грейферным краном подается в бункер; сюда же подается вода под давлением 0,2—0,3 МПа. Приготовленное в бункере концентрированное молоко поступает на грохот, где из него выделяются частицы крупностью более 25 мм. Мелкие частицы поступают в шаровую мельницу, работающую в замкнутом цикле с классификатором. Дальнейшие операции такие же, как при сухом способе хранения извести.

Крупные отходы с грохота попадают в бункер перед дробилкой, которая измельчает их до крупности 25 мм; измельченная масса вновь подается на грохот.

Состав сооружений и оборудования станции нейтрализации выбирается в зависимости от расхода, концентрации кислоты и наличия в сточной воде тяжелых механических примесей. Для удаления последних могут предусматриваться песколовки, устанавливаемые перед усреднителями.

Приготовление рабочего раствора известкового молока концентрацией 5—10% активного оксида кальция производится в растворных баках. Баки оборудуются мешалками на вертикальной оси с частотой вращения не менее 40 мин$^{-1}$; применяется также перемешивание рабочего раствора воздухом с интенсивностью аэрации 0,8 м^3/(м^2·мин) или насосами.

Подача рабочего раствора в нейтрализуемую воду производится при помощи насосов или различных дозаторов (черпаковых, поплавковых, тарированных насадок с постоянным напором и т. п.). Дозаторы блокируются с автоматическими pH-метрами, обеспечивающими надежность и непрерывность процесса нейтрализации. Для транспортирования рабочих растворов применяются полиэтиленовые трубы и кислотостойкие насосы.

Скорость движения раствора по трубам должна быть не менее 1,5 м/с.

Все оборудование установок нейтрализации размещается в реагентном здании, в котором находятся установки для гашения извести, приготовления известкового молока и его дозирования.

Для перемешивания реагента со сточной водой применяются смесители любого типа.

Продолжительность контакта сточных вод и реагента в камерах реакции обычно не превышает 5 мин; при наличии в кислых водах ионов тяжелых металлов она увеличивается до 30 мин.

При небольшом количестве нейтрализуемых сточных вод применяются контактные нейтрализаторы, при значительном расходе сточных вод — проточные.

Для выделения из нейтрализованной сточной воды нерастворенных примесей (сульфата кальция, гидроксидов тяжелых металлов и т. п.) применимы отстойники любого типа, рассчитываемые на пребывание в них сточной воды в течение 2 ч. Продолжительность отстаивания может быть уменьшена путем введения в воду флокулянтов (например, полиакриламида) при соблюдении оптимальных условий их действия (дозы, величины pH воды и пр.).

Осветленная вода используется в оборотных циклах водоснабжения или сбрасывается в канализацию.

Осадки, выделенные в отстойниках, обезвоживаются на шламовых площадках, барабанных вакуум-фильтрах или фильтр-прессах. Шламовые площадки с дренажем устраиваются на открытом воздухе, а при необходимости — в закрытых утепленных помещениях. Размеры площадок в закрытых помещениях определяются из расчета 10—15 м³ осадка на 1 м² в год. При расположении шламовых площадок на открытом воздухе расчет необходимой площади следует вести из условий намораживания.

Обезвоживание осадка на вакуум-фильтрах предусматривается при количестве сухого вещества в осадке не менее 25 кг/м³ и соотношении гипса и гидроксида не менее 3 : 1. При расчете вакуум-фильтров следует принимать нагрузку на фильтр 15—20 кг/(м²·ч), считая по сухому веществу, частота вращения барабана 0,4 мин⁻¹, поддерживаемый вакуум 53,32—79,98 кПа, в качестве фильтрующей ткани применяют капрон и бельтинг.

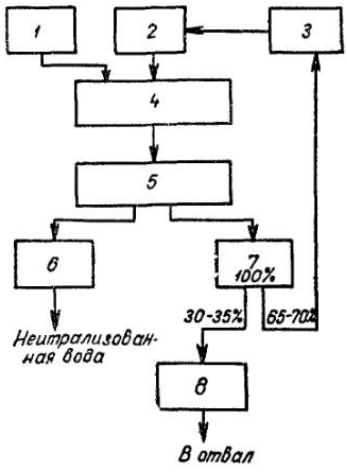


Рис. 5.35. Схема нейтрализации сточных вод с использованием осадка в процессе нейтрализации

1 — сборник производственных сточных вод; *2* — реагентное хозяйство; *3* — сборник осадка, возвращаемого в процессе нейтрализации; *4* — смеситель; *5*—отстойник; *6* — сборник нейтрализованной воды; *7* — обезвоживание шлама; *8* — шламовые площадки

С целью сокращения объемов образующихся осадков применяется способ многократного их использования в процессе нейтрализации (рис. 5,35).

§ 141. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

К физико-химическим процессам очистки производственных сточных вод относятся: коагуляция, флокуляция, экстракция, сорбция, эвапорация, флотация, ионный обмен, кристаллизация, диализ, дезактивация и дезодорация.

Коагуляция. Для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей, а также эмульгированных смол производят их коагулирование. При этом уменьшаются концентрация взвешенных веществ, запах и цветность. Этот процесс применяется для очистки производственных сточных вод в том случае, когда простое отстаивание и фильтрование их не дает удовлетворительного эффекта.

В качестве коагулянта наиболее часто используют сульфат алюминия, алюминат натрия, сульфат железа, хлорид железа, известь и др. Введенный в воду сульфат алюминия взаимодействует с содержащимися в ней гидрокарбонатами, образуя первоначально гелеобразный гидроксид алюминия:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2.$$

В том случае когда щелочность воды недостаточна, добавляют известь:

$$Al_2(SO_4)_3+3Ca(OH)_2 \rightleftarrows 2Al(OH)_3+3CaSO_4.$$

Хлопья гидроксида алюминия захватывают взвешенные и коллоидные вещества и при благоприятных гидродинамических условиях быстро оседают на дно отстойника, образуя осадок.

При применении солей железа образуется нерастворимый гидроксид железа:

$$2FeCl_3+3Ca(OH)_2=2Fe(OH)_3+3CaCl_2;$$

$$Fe_2(SO_4)_3+3Ca(OH)_2=2Fe(OH)_3+3CaSO_4.$$

При коагулировании солями железа наиболее полное осветление достигается применением трехвалентного железа. Для снижения дозы

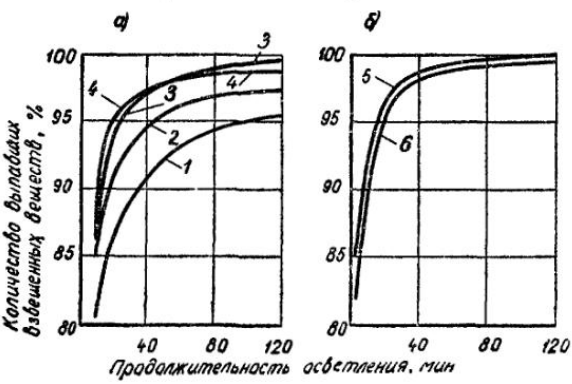


Рис 5 36 Кривые осаждения взвешенных веществ при добавлении реагентов

а — ПАА, *б* — ПАА и $FeSO_4$, *1* — без реагентов, *2* — с ПАА дозой 1 мг/л, *3* — то же, 2 мг/л, *4* — то же 3 мг/л, *5* — с ПАА дозой 1 мг/л и $FeSO_4$ дозой 100 мг/л, *6* — ПАА дозой 2 мг/л и $FeSO_4$ дозой 100 мг/л

коагулянта имеет большое значение определение pH сточных вод. При этом для Fe^{3+} pH может колебаться от 3,5 и выше, однако наилучшие результаты получены в диапазоне pH=6...9. Для Fe^{2+} pH должно равняться 9,5 и выше.

Двухвалентное железо в виде $FeSO_4$ — дешевый отход процесса травления стали в металлообрабатывающей промышленности — является также эффективным коагулянтом. Концентрация железа в травильных стоках колеблется от 1,5 до 15%.

Экспериментами установлено, что доза 40 мг/л Fe^{3+} обеспечивает высокую степень очистки сточных вод. При использовании Fe^{3+} эффект очистки по ХПК достигает 72%, а при использовании Fe^{2+}—70,5%. Снижение мутности достигает 90%. Fe^{3+} позволяет снизить содержание фосфора на 97,5%, уменьшить содержание бактерий на 40—80%, снизить цветность и уменьшить запах.

Флокуляция. Для интенсификации процессов коагуляции и осаждения взвешенных частиц широко используются органические природные и синтетические реагенты — высокомолекулярные флокулянты. Флокулянт ПАА катионно-анионного типа представляет собой сополимер акриламида и солей акриловой кислоты. Оптимальная доза ПАА для очистки производственных сточных вод колеблется в пределах от 0,4 до 1 г/м^3.

На рис. 5.36 показано влияние ПАА на осветление сточной воды конверторной газоочистки металлургического завода. Процесс отстаивания в течение первых 15 мин при добавлении ПАА ускоряется в 3—5 раз. Из сопоставления кривых *1* и *2* видно, что для получения эффекта очистки 95% без ПАА необходима продолжительность отстаивания 93 мин, а с добавкой 1 мг/л ПАА это время сокращается до 45 мин, т. е. почти в 2 раза. При дальнейшем отстаивании эффективность действия ПАА

сказывается в меньшей степени и на конечный эффект (при $t=120$ мин) ПАА заметного влияния не оказывает.

Применением ПАА можно повысить удельную нагрузку на радиальные отстойники с 1—1,5 до 3—4 $м^3/(м^2 \cdot ч)$.

Новые флокулянты синтезированы в Институте химии АН УзССР. Установлено, что анионные флокулянты К-4, СМА, САВ, АКС-1 наиболее эффективны для очистки воды совместно с сульфатом алюминия. Анионные флокулянты МАА, САА и катионные ПВМ, ВПН не требуют добавления в осветляемую воду коагулянтов. Эти новые флокулянты могут применяться при дозах от 0,25 до 3 $г/м^3$ для глубокой очистки сточных вод при концентрации мелкодисперсной взвеси от 100 до 10 000 $г/м^3$.

Для более полного прохождения реакции во всем объеме и экономии реагента весьма большое значение имеет хорошее и быстрое его смешение со сточной водой. Продолжительность пребывания воды в смесителе составляет 1—2 мин.

Необходимая продолжительность контакта сточных вод с реагентами колеблется в пределах 20—60 мин. В этот промежуток времени происходит действие химических реагентов и протекает процесс коагуляции и хлопьеобразования. Последующее осветление воды может производиться в отстойниках. Экономичной является двухступенчатая схема отстаивания сточных вод. Первая ступень — простое отстаивание в отстойнике без коагуляции; вторая ступень — обработка сточных вод коагулянтом и флокулянтом с последующим отстаиванием в отстойнике. По этой схеме достигается экономия коагулянта и флокулянта.

Устройства, в которых осуществляется три основные технологические операции — смешение, коагуляция (хлопьеобразование) и осветление воды, — часто совмещают в единый комплекс коагулятора-осветлителя.

Если в производственных сточных водах содержится не более 4 г/л взвешенных веществ, способных к агрегации, применение осветлителей со взвешенным слоем осадка оказывается более эффективным, чем применение отстойников.

В осветлителях вода проходит снизу вверх через слой ранее выделившегося шлама с такой скоростью, чтобы взвешенные частицы не уносились из зоны взвешенного осадка. При движении сточной воды через взвешенный слой увеличивается степень задерживания мелких суспендированных частиц.

Осветлители проектируются круглыми (диаметр до 15 м) или прямоугольными в плане. Площадь осветлителя не должна превышать 150 $м^2$.

При коагулировании алюминиевым или железным коагулянтом камеры реакции для формирования хлопьев перед поступлением воды в осветлители не нужны, так как взвешенный слой хлопьев в осветлителе обеспечивает быстрое укрупнение частиц гидроксида.

Пузырьки образующихся газов и колебания температуры поступающей воды нарушают работу осветлителей — увеличивается вынос взвешенных веществ из осветлителя. Поэтому необходимо очищаемую воду после смешения с реагентами направлять в воздухоотделитель для освобождения от пузырьков воздуха, выделяющихся в результате реакций, протекающих при введении в сточную воду реагентов. Колебания температуры допускаются не более чем 1 град/ч, а колебания расхода воды в течение часа — не более чем на 10%. Все изменения скорости воды в осветлителе должны происходить плавно; резкие колебания скорости, даже незначительные, нарушают работу сооружения.

При содержании взвешенных веществ в сточной воде до 400 мг/л и обработке ее сульфатом алюминия скорость восходящего потока воды в осветлителе обычно может быть доведена до 0,8—0,9 мм/с. При содержании взвешенных веществ 400—1000 мг/л скорость восходящего

потока увеличивается до 0,9—1 мм/с, а при содержании взвешенных веществ до 2500 мг/л может достигнуть 1,1 мм/с.

Избыток шлама, накапливающегося в осветлителе при его работе, перетекает под действием разности плотностей осветленной воды и взвешенного слоя в специальную камеру — осадкоуплотнитель (осветлители с естественным отсосом шлама) либо отсасывается в результате разности уровней отбора воды из рабочей камеры и уплотнителя (осветлитель с принудительным отсосом избытка шлама). Эти осветлители значительно эффективнее, чем осветлители с естественным удалением шлама.

Площадь осветлителя с вертикальным осадкоуплотнителем определяется по формуле

$$F_{осв} = F_{з\,о} + F_{оу} = \frac{Q_{осв}}{v_{расч}}\left(1+\frac{C_н - C_к}{\delta}\right)[K_р + (1-K_р)\,\varphi], \qquad (5.30)$$

где $F_{з.о}$, $F_{оу}$ — соответственно площадь зоны осветления и осадкоуплотнителя, м²;

$Q_{осв}$ — расчетный расход осветленной воды, м³/с;

$v_{расч}$ — расчетная скорость восходящего потока воды в зоне осветления, м/с;

$C_н$, $C_к$ — начальная и конечная концентрация взвешенных веществ в осветляемой сточной воде, г/м³;

δ — концентрация взвешенных веществ в шламе осадкоуплотнителя, г/м³, после уплотнения в течение времени между продувками осветлителя (не менее 3—6 ч);

φ — коэффициент подсоса осветленной воды в осадкоуплотнитель, принимаемый равным 1,15—1,2;

$K_р$ — коэффициент распределения воды между зоной осветления воды и осадкоуплотнителем, вычисляемый по формуле

$$K_р = 1 - \frac{C_н - C_к}{C_{в\,о}}\,v_{расч}, \qquad (5.31)$$

здесь $C_{в.о}$ — эталонная концентрация взвешенных веществ в слое взвешенного осадка, г/м³, при скорости воды 1 мм/с и температуре 20° С.

Площадь осветлителей с поддонным осадкоуплотнителем определяется по формуле

$$F_{осв} = F_{з\,о} + F_{от} = Q_{расч}\left(1+\frac{C_н - C_к}{\delta}\right)\left[\frac{K_р}{v_{расч}} + \frac{(1-K_р)}{v_{от}}\right], \qquad (5.32)$$

где $F_{от}$, $v_{от}$ — соответственно площадь осадкоотводящих труб, м², и скорость движения воды с осадком в этих трубах, принимаемая равной 0,025—0,04 м/с.

Высота слоя взвешенного осадка в осветлителях принимается равной 1,5—2,5 м, высота защитной зоны от верха осадкоотводящих окон или труб до лотков для сбора осветленной воды 1—1,5 м. Угол наклона к горизонту нижней части стенок конических или пирамидальных осветлителей, а также стенок осадкоуплотнителей принимается не менее 45°. Низ осадкоприемных окон или кромка осадкоотводящих труб располагается на расстоянии 1,5—1,75 м выше перехода наклонных стенок осветлителя в вертикальные. Объем зоны уплотнения осадка $W_{з\,у}$ (части объема осадкоуплотнителя, которая расположена на 0,5—0,7 м ниже нижней кромки осадкоотводящих окон или труб) должен удовлетворять условию

$$W_{з\,у} \geqslant Q_{осв}\,\frac{C_н - C_к}{\delta}\left(1+\frac{C_н - C_к}{\delta}\right)t_у, \qquad (5.33)$$

где $t_у$ — продолжительность уплотнения шлама, $t_у$=3...6 ч

Конструкции осветлителей для очистки производственных сточных вод должны отвечать требованиям, предъявляемым к осветлителям для очистки природных вод, однако скорость восходящего потока воды в зоне осветления и взвешенного осадка, коэффициент распределения, высоту и концентрацию взвешенных веществ в слое взвешенного осадка, концентрацию шлама после уплотнения следует определять экспериментально.

На заводе «Станколит» (Москва) осуществлена реагентная очистка сточной воды литейных цехов в осветлителях нового типа с помощью сульфата алюминия и полиакриламида.

Конструкция такого осветлителя с выгрузкой уплотненного шлама показана на рис. 5.37. Вода, смешанная с сульфатом алюминия, по трубе *1* поступает в воздухоотделитель *3*. На конце трубы *1* установлена расширяющаяся насадка, предназначенная для гашения кинетической энергии воды. При повороте потока воды, выходящего из насадки, на 180° и при дальнейшем нисходящем ее движении с малой скоростью происходит удаление воздуха. Вода направляется по центральной трубе *14* к шести распределительным трубам *15*, оканчивающимся коническими соплами. Сопла расположены горизонтально и предназначены для распределения и вращения воды по кольцевой зоне. Полиакриламид вводится в кольцевую зону по трубе *9* с воздухоотделителем *5*.

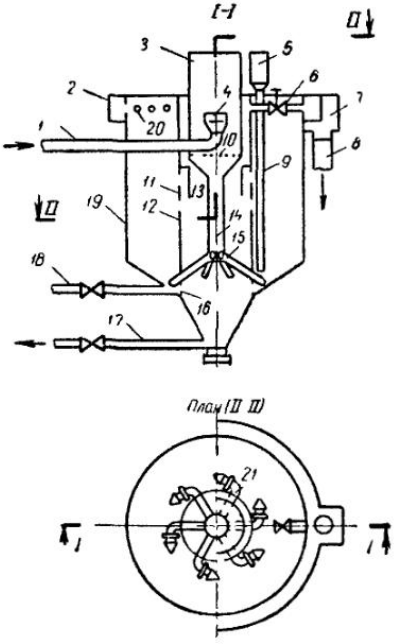


Рис. 5 37. Схема осветлителя новой конструкции

1 — труба; *2* — желоб; *3* — воздухоотделитель; *4* — насадка для гашения кинетической энергии воды; *5* — воздухоотделитель; *6* — труба; *7* — кольцевой лоток; *8* — труба; *9* — труба; *10* — предохранительная решетка; *11* — высотная система окон; *12* — шламоуплотнитель; *13* — кожух; *14* — центральная труба; *15* — распределительные трубы; *16* — окна; *17* — труба; *18* — труба; *19* — кольцевая зона; *20* — отверстия; *21* — конические сопла

Одновременно с вращательным движением вода совершает поступательное движение в кольцевой зоне. Скорость поступательного движения рассчитана на поддержание частиц шлама во взвешенном состоянии. Эти частицы образуют контактную среду, которая располагается по высоте кольцевой зоны от распределительных сопл до некоторой отметки в цилиндрической части этой зоны. На этой отметке устанавливается резкая граница поверхности контактной среды и осветленной воды. По мере поступления новой порции взвешенных частиц избыточная часть их из контактной среды отводится через систему окон *11* и с помощью кожуха направляется в нижнюю часть шламоуплотнителя *12*. Вместе с взвешенными частицами из контактной среды отводится часть воды. Эта вода, выходя из-под нижнего края кожуха, меняет направление своего движения на 180°, вследствие чего происходит инерционное отделение значительной части взвешенных загрязнений. Остальная часть этих загрязнений образует в шламоуплотнителе взвешенную контактную среду, с помощью которой происходит непрерывное осаждение взвешенных веществ в нижнюю часть шламоуплотнителя. Образующийся здесь шлам уплотняется и периодически удаляется по трубе *17*.

Основная часть воды, поступающей в шламоуплотнитель, осветляется так же, как и в кольцевой зоне, и, поднявшись вверх по трубе *6*,

поступает в кольцевой лоток и отводится по трубе *8*. Количество этой воды регулируется задвижкой на трубе *6*.

Осветленная вода через отверстия *20* сливается в желоб и отводится по трубе *8*.

Система окон, расположенных по высоте осветлителя, автоматически регулирует баланс взвешенных веществ, поступающих в осветлитель и отводимых в шламоуплотнитель. При изменении содержания взвешенных веществ в исходной воде и пропускной способности осветлителя верх контактной среды перемещается в пределах высоты расположения окон, следовательно, меняется площадь окон, через которые удаляется избыток взвешенных веществ.

В нижней части корпуса шламоуплотнителя имеются круглые окна для удаления из контактной среды тяжелых фракций. Кроме того, эти окна служат для разгрузки стенок шламоуплотнителя от одностороннего давления, которое создается при наполнении и опорожнении осветлителя. Для опорожнения осветлителя служит труба *18*.

Конструкция нового осветлителя позволяет: облегчить операцию выгрузки шлама; сократить объем шлама путем снижения его влажности; сократить расход реагентов благодаря улучшению их перемешивания с водой; повысить степень осветления воды за счет уменьшения выноса шлама; сократить количество операций промывки осветлителей.

Экстракционные способы очистки. Для выделения из производственных сточных вод растворенных в них органических веществ, например фенолов и жирных кислот, можно использовать способность этих веществ растворяться в какой-либо иной жидкости, не растворимой в очищаемой воде. Если такую жидкость прибавлять к очищаемой сточной воде и перемешивать, то эти вещества будут растворяться в прибавленной жидкости, а концентрация их в сточной воде будет уменьшаться. Этот физико-химический процесс основан на том, что при тщательном перемешивании двух взаимно нерастворимых жидкостей всякое вещество, находящееся в растворе, распределяется между ними в соответствии со своей растворимостью согласно закону распределения. Если же после этого прибавленную жидкость выделить из сточных вод, то последние оказываются частично очищенными от растворенных веществ.

Этот способ удаления растворенных веществ из сточных вод называют жидкостной экстракцией; удаляемые при этом растворенные вещества — экстрагируемыми веществами, а добавляемую, не смешивающуюся со сточными водами жидкость — экстрагентом. В качестве экстрагентов применяются бутилацетат, изобутилацетат, диизопропиловый эфир, бензол и др.

Отношение взаимоуравновешивающихся концентраций в двух несмешивающихся (или слабо смешивающихся) растворителях при достижении равновесия является постоянным и называется коэффициентом распределения:

$$K = \frac{C_э}{C_0} \approx \text{const}, \qquad (5.34)$$

где $C_э$ — концентрация данного вещества в экстрагенте при установившемся равновесии, кг/м³;

C_0 — то же, в сточной воде при тех же условиях, кг/м³.

Величина коэффициента распределения K зависит от температуры, при которой производится экстракция, и от концентрации экстрагируемого вещества. Данные о величине K для некоторых веществ (при температуре 25° С) приведены в табл. 5.11.

Таблица 511

Значение коэффициента распределения K

Извлекаемое из воды вещество	Экстрагент	K
Муравьиный альдегид	Амиловый спирт	3,09
Хлоруксусная кислота	То же Изоамиловый спирт	3,59 7,28—1,59
Бензойная кислота	Диэтиловый эфир Бутилацетат Хлороформ	70,9—90,9 30 9,44—13,5
Салициловая кислота	Бензол Хлороформ Ацетат	1,69—4,5 2,85—4,26 126
Фенол	Бутилацетат Амиловый спирт Бензол Хлороформ	51 16—14,1 2,3—12,5 3,35—12,5
Хинон	Диэтиловый спирт	3,06—3,22
Анилин	Бутилацетат	27,2
Хлоральгидрат	Диэтиловый спирт	4,25

Так как степень ассоциации молекул и активность ионов меняются с изменением концентрации, то величину коэффициента распределения K определяют экспериментально для того интервала концентраций, с которым придется иметь дело в практических условиях.

К экстрагенту предъявляется еще ряд требований. Он не должен образовывать эмульсии с водой, так как это ведет к снижению производительности установки и к увеличению потерь растворителя, должен легко регенерироваться, быть нетоксичным.

Техника экстракционной очистки состоит в следующем. К сточной воде добавляют экстрагент и перемешивают их до установления равновесного распределения примеси между обоими растворителями. При последующем отстаивании смесь из-за разности плотностей разделяется на два слоя, которые могут быть отделены друг от друга механическим путем.

При однократной экстракции нельзя полностью удалить из сточных вод экстрагируемое вещество; это может быть достигнуто лишь в результате повторной экстракции одной и той же порции воды новыми порциями экстрагента, что и применяют на практике. Этот способ недостаточно экономичен, так как требует большого количества экстрагента. Так, например, чтобы уменьшить концентрацию фенолов в очищенных сточных водах с 6 до 0,1 г/л, нужно произвести несколько экстракций и для очистки 1 л сточной воды затратить такого экстрагента, как бензол, 2,2 л.

Более экономично проводить экстракцию, направляя поток экстрагента навстречу потоку сточных вод (противоточная экстракция). В этом случае для снижения концентрации фенолов с 6 до 0,1 г/л необходимо всего 0,5 л того же экстрагента (бензола) на 1 л сточной воды. Уменьшение расхода экстрагента при противоточной экстракции обусловливается бо́льшим насыщением бензола фенолом, достигаю-

щим 10—15 г/л. Экстракция по такому принципу проводится в экстракционных колоннах или в каскаде экстракторов (рис. 5.38).

Для лучшего смешивания очищаемых вод с экстрагентами внутри экстракторов устраивают перегородки или устанавливают мешалки. Если экстрагент имеет меньшую плотность, чем сточная вода, то ее подают сверху, а экстрагент — снизу. В противном случае подачу сточных вод осуществляют снизу, а экстрагента — сверху.

В трехступенчатом каскаде противоточной экстракции очищаемые сточные воды проходят последовательно три экстрактора, оборудованных механическими мешалками. Чистый экстрагент вводят в третий экстрактор, в котором очищаемые воды содержат сравнительно немного загрязнений. После выделения в отстойнике третьей ступени этот эстрагент перекачивается во второй экстрактор, где находится более концентрированная сточная вода, чем в третьем экстракторе. После отделения в отстойнике второй ступени экстрагент подается в первый экстрактор, где концентрация загрязнений в нем достигает предельной величины. Экстрагент, выделенный в отстойнике первой ступени, направляется на регенерацию и повторное использование.

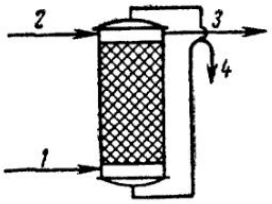


Рис. 5.38. Схема непрерывной экстракции

1 — чистый экстрагент; *2* — сточная вода; *3* — экстрагент, насыщенный загрязнениями; *4* — очищенная вода

Экстрагенты по их растворяющей способности могут быть разделены на две группы. Одни из них могут извлекать преимущественно только одну какую-нибудь примесь или примеси только одного класса, другие же — бóльшую часть примесей данных сточных вод (в предельном случае — все). Экстрагенты первого типа называют селективными (избирательными).

Экстрагирующие свойства растворителя можно усилить путем использования синергического эффекта, обнаруженного при экстракции смешанными растворителями. Например, при извлечении фенола из сточных вод отмечается улучшение экстракции бутилацетатом в смеси с бутиловым спиртом.

Для определения конечной концентрации C растворенных веществ в сточной жидкости при непрерывной экстракции пользуются формулой

$$C = \frac{C_0}{(1 + Kb)^n}, \qquad (5.35)$$

где C_0 — начальная концентрация экстрагируемого вещества в воде, кг/м³;

K — коэффициент распределения;

b — удельный расход экстрагента, м³/м³, определяется из соотношения

$$b = \frac{W}{nQ}, \qquad (5.36)$$

здесь W — общий объем экстрагента, затрачиваемого на экстракцию, м³;

n — число экстракций;

Q — объем воды, подвергающейся экстракции, м³.

Материальный баланс процесса непрерывной экстракции может быть выражен уравнением

$$C_0 Q = CQ + C_э W, \qquad (5.37)$$

где $C_э$ — концентрация вещества в экстрагенте, кг на 1 м³ экстрагента.

При определении высоты колонных экстракторов исходят из необходимости обеспечить максимальную насыщенность экстрагента веществом при данной концентрации его в сточной воде.

Следовательно, вверху колонны (если плотность экстрагента меньше, чем плотность воды) концентрация насыщения вещества в экстрагенте в соответствии с формулой (5.34) будет:

$$C_э = KC_0. \tag{5.38}$$

Подставив это выражение в формулу (5.37) и bQ вместо W, получим:

$$C = (1 - Kb)\, C_0. \tag{5.39}$$

В том случае когда концентрация вещества в очищенной воде задается заранее, а искомой величиной является удельный расход экстрагента b, последний определяют по формуле

$$b = \frac{C_0 - C}{KC_0}. \tag{5.40}$$

Число экстракций можно определить по формуле (5.36).

Наряду с определением величины коэффициента распределения для различных экстрагентов устанавливают также величину их потерь. Потери экстрагента в основном могут происходить в результате растворения и эмульгирования его в воде, что необходимо учитывать при расчете сооружений для последующей очистки сточных вод.

Если экстрагируемые примеси обладают основным или кислотным характером, то эффективность их экстракции почти всецело зависит от значений pH сточной воды. Оптимальное значение pH устанавливается экспериментально.

В промышленном масштабе экстракционный метод применяется в СССР для первичной очистки от фенолов сточных вод заводов термической переработки твердого топлива. В качестве экстрагента применяется бутилацетат в смеси с бутиловым спиртом.

Сорбционные способы очистки. Сорбция является одним из универсальных способов глубокой очистки от растворенных органических веществ сточных вод таких производств, как коксохимические, сульфатцеллюлозные, хлорорганические, синтеза полупродуктов, красителей и др. Для удаления органических веществ, определяемых величиной БПК, пригодна биологическая очистка. Для удаления стойких органических веществ, определяемых ХПК, биологическая очистка не является эффективной. Даже хорошо очищенные сточные воды после биологической очистки имеют загрязнения органическими веществами, величина которых по ХПК равна 20—120 мг/л. Эти вещества включают танины, лигнины, эфиры, протеиновые вещества и другие органические загрязнения, имеющие цветность и запахи, пестициды, такие, как ДДТ, и др. Сорбционная очистка сточных вод используется как до биологической очистки, так и после нее. В последнее время исследуется возможность замены биологической очистки производственных и бытовых сточных вод сорбционной очисткой.

В отличие от биохимического процесса колебания температуры и влияние токсичности для сорбции не имеют такого большого значения, кроме того, легче решаются вопросы удаления осадка и автоматизации, сложные для станций биологической очистки. Применяются три типа сорбции.

Адсорбция — поглощение вещества поверхностью чаще всего твердого поглотителя. Аппараты, в которых происходит адсорбция, называются адсорберами.

Абсорбция — поглощение, сопровождающееся диффузией поглощенного вещества в глубь сорбента с образованием растворов. В боль-

шинстве случаев абсорбции поглотителем является жидкость. Аппараты, в которых происходит этот процесс, называются абсорберами, или скрубберами.

Хемосорбция — адсорбция, сопровождающаяся химическим воздействием поглощаемого вещества с сорбентом. Хемосорбция применяется в технике при поглощении диоксида углерода, оксида азота, аммиака и т. п. Процесс осуществляется обычно в башнях, заполненных пористой насадкой, через которую фильтруется очищаемая сточная вода.

В качестве сорбентов применяют различные искусственные и природные пористые материалы: активированные угли, золу, коксовую мелочь, силикагели, алюмогели, активные глины и земли. Последние составляют большой класс природных сорбентов, которые обладают значительной поглотительной способностью без всякой дополнительной обработки, что является их преимуществом перед искусственными сорбентами.

Наиболее важными показателями сорбентов являются пористость, структура пор, химический состав.

Пористость — самая общая характеристика сорбционной способности сорбента и определяется, %, по формуле

$$P = \frac{d - \delta}{d} 100, \qquad (5.41)$$

где d и δ — соответственно истинная (без учета пор) и кажущаяся (с учетом пор) плотность сорбента.

Пористость активированных углей составляет 60—75%, туфов — 30—55%, диатомитов — до 75%.

По структуре пористой поверхности сорбенты разделяются на мелкопористые, крупнопористые и смешанные. Величина сорбционного потенциала выше у мелкопористых сорбентов, однако они не всегда оказываются доступными для поглощения загрязнений сточных вод. Активированные угли, как правило, являются доступными для поглощения молекулярно-растворенных веществ. Природные сорбенты (туфы, диатомиты) способны поглощать группы молекул.

Благодаря химическому сродству сорбентов к извлекаемым загрязнениям наиболее часто встречающиеся углеродные сорбенты целесообразно применять для удаления из воды недиссоциируемых или слабодиссоциируемых веществ органического происхождения.

Активность сорбента характеризуется количеством поглощаемого вещества в кг на 1 м^3 или 1 кг сорбента; активность может быть выражена в долях или процентах от массы сорбента.

Статической активностью сорбента называется максимальное количество вещества, поглощенного к моменту достижения равновесия единицей объема или массы сорбента при постоянных температуре воды и начальной концентрации вещества.

Динамической активностью сорбента называется максимальное количество вещества, поглощенного единицей массы или объема сорбента до момента появления сорбируемого вещества в фильтрате при пропускании сточной воды через слой сорбента. Динамическая активность всегда ниже статической. Так, например, в адсорберах промышленного типа динамическая активность активированных углей составляет 45—60% статической.

Статическая активность сорбента определяется изотермой сорбции. Уравнение изотермы адсорбции типа Ленгмюра имеет вид:

$$a^* = \frac{a_{\text{макс}} C^*}{K_1 + C^*}, \qquad (5.42)$$

где $a_{\text{макс}}$ — предельная величина адсорбции, кг/кг;

K_1 — константа, зависящая от энергии связи и предельной величины адсорбции, кг/м³;

a^* и C^* — равновесные концентрации загрязнения соответственно на сорбенте, кг/кг, и в воде, кг/м³.

Константы изотерм адсорбции некоторых загрязнений сточных вод приведены в табл. 5.12.

Таблица 5.12

Константы изотерм адсорбции загрязнений сточных вод

Константы изотерм	Марка и диаметр частиц активированного угля					
	АУП, $d_э$ = 0,6 мм	БАУ, $d_э$ = 0,1 мм	КАД, $d_э$ = 0,07 мм	ОУ, $d_э$ = 0,032 мм	ОУ, $d_э$ 0,1 мм	
$a_{макс}$, кг/кг . .	0,33	0,5	0,45	0,5	0,118	0,192
K_1, кг/м³ . . .	$9 \cdot 10^{-4}$	$32 \cdot 10^{-3}$	$22{,}5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$13{,}8 \times 10^{-3}$	$15{,}4 \times 10^{-3}$

Примечание. В первых четырех колонках представлены данные по очистке сточных вод, содержащих тринитротолуол, в двух последних колонках — данные по сточным водам производства алкилфенольных присадок соответственно МАСК и 22-46.

При рассмотрении изотермы Ленгмюра различают три области: I — область, называемая областью Генри, характеризуется крутым восхождением кривой ($a^* = K_{адс} C^*$) и соответствует сильно разбавленным растворам; II — область переходная; III — область насыщения.

Основные схемы адсорбционной очистки сточных вод приведены в *табл. 5.13.*

Адсорбция гранулированным активированным углем осуществляется в насыпных фильтрах или в аппаратах с псевдоожижением угля.

Фильтрование через неподвижный слой активированного угля в насыпных фильтрах производится сверху вниз или снизу вверх (схема *А*). В этом случае предусматривается предварительная очистка сточной воды от взвешенных веществ на песчаных фильтрах, так как присутствие их в количестве более 10 г/м³ вызывает быстрое нарастание потерь напора в сорбционных фильтрах. Наиболее часто практикуется последовательная работа сорбционных фильтров со скоростями фильтрования воды от 1—2 до 5—6 м/ч через загрузку с размером зерен от 1,5—2 до 5—6 мм. Фильтры с неподвижным слоем угля наиболее рационально применять при регенеративной очистке цеховых сточных вод. При десорбции, осуществляемой химическими растворителями или паром, достигается не только восстановление сорбционной способности угля, но и извлечение продукта, имеющего техническую ценность.

При сорбции в насыпных фильтрах время защитного действия фильтра определяется по формуле

$$T = KH - \tau, \tag{5.43}$$

где H — высота слоя сорбента, м;

K — коэффициент фильтрующего (защитного) действия, определяемый опытным путем и зависящий от ряда факторов, в том числе начальной концентрации вещества в растворе и скорости фильтрования;

τ (постоянная) — потеря времени фильтрующего действия.

Количество вещества V, кг, задерживаемого фильтром, может быть определено из формулы

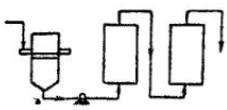
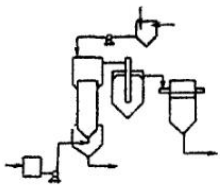
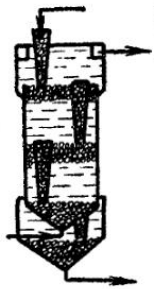
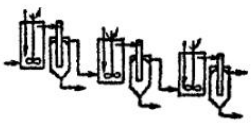
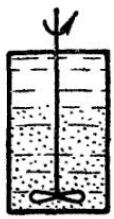
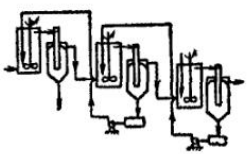
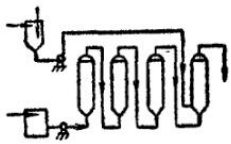
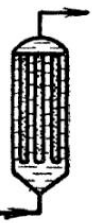
$$V = (H - h) F a_{д}, \tag{5.44}$$

где H — высота слоя сорбента, м;

h — эмпирическая константа;

Таблица 5.13

Основные схемы адсорбционной очистки

Диаметр зерна сорбента, мм	Схема адсорбционной очистки	Тип адсорбера	Тип регенерации сорбента	Преимущественная область применения
3—5		Насыпной фильтр 	Химическими реагентами, паром	Перед биологической очисткой сточных вод
0,5—1		Адсорбер с псевдоожижением сорбента 	Термическая	При совместном удалении взвешенных веществ из общего стока завода
0,1 и менее		Аппарат с мешалкой 	Термическая или без регенерации	Глубокая очистка воды, возможность возврата в систему оборотного водоснабжения
				
		Намывной фильтр 		То же

Деструктивная очистка воды

$a_д$ — динамическая активность сорбента, кг/м³, равная 0,7 статической его активности;

F — площадь фильтра, м².

В аппаратах с псевдоожижением активированного угля (схема *Б*) сточная вода подается снизу вверх со скоростями 7—10 м/ч. При этом уголь с размером частиц 0,5—1 мм перемешивается восходящим потоком воды и по мере насыщения перемещается от верхних тарелок к нижним. Мелкие взвешенные частицы загрязнений сточных вод выносятся из адсорбера и могут быть удалены совместно со стоками других цехов на общих очистных сооружениях. Такая очистка сточных вод предъявляет повышенные требования к активированному углю, поскольку он подвергается значительному истиранию при псевдоожижении и гидротранспортировании.

Адсорбция порошкообразным активированным углем. Уменьшение размера частиц активированного угля мало влияет на предельную емкость сорбента, но очень сильно влияет на скорость адсорбции. Порошкообразный активированный уголь с размером частиц около 10 мкм достигает 90% равновесного состояния менее чем за 19 мин, в то время как для гранулированного угля потребуется несколько дней.

Процесс очистки с использованием порошкообразного угля протекает в несколько ступеней (схема *В*). На каждой ступени осуществляются перемешивание активированного угля со сточной водой и реагентом (полиэлектролитом), хлопьеобразование и отстаивание. Сточная вода из отстойника последней ступени фильтруется через песчаный фильтр для задержания активированного угля, который нельзя отделить отстаиванием.

В основу расчета очистки сточных вод в адсорбционных аппаратах с мешалками принято балансовое уравнение

$$ma^* + QC^* = QC_0, \tag{5.45}$$

где m — количество сорбента, кг;

Q — количество сточной воды, м³;

C_0 — начальная концентрация загрязнений в сточной воде, кг/м³;

a^* и C^* — равновесные концентрации загрязнения соответственно на сорбенте, кг/кг, и в воде, кг/м³.

Количество сорбента, необходимого для очистки сточных вод при одноступенчатой адсорбции, определяется по формуле

$$m = \frac{Q(C_0 - C^*)}{a^*}. \tag{5.46}$$

Если адсорбция происходит в области Генри изотермы адсорбции ($a^* = K_{адс} C^*$), выражение (5.46) запишется следующим образом:

$$m = \frac{Q(C_0 - C^*)}{K_{адс} C^*}. \tag{5.47}$$

Остаточная концентрация загрязнения в очищенной воде (равновесная *концентрация вещества в воде) при заданной дозе сорбента* определяется по формуле

$$C^* = \frac{QC_0}{Q + K_{адс} m}. \tag{5.48}$$

Если сточная вода очищается в n последовательно соединенных ступенях, в каждую из которых вводится свежий сорбент, концентрация загрязнений в очищаемой воде будет:

после 1-й ступени:

$$C_1 = \frac{Q}{Q + K_{адс} m} C_0; \tag{5.49}$$

после 2-й ступени

$$C_2 = \frac{Q}{Q + K_{адс} m} C_1 = \left(\frac{Q}{Q + K_{адс} m}\right)^2 C_0; \quad (5.50)$$

после n-й ступени

$$C_n = \left(\frac{Q}{Q + K_{адс} m}\right)^n C_0. \quad (5.51)$$

Таким образом, многоступенчатый процесс позволяет достичь более глубокой очистки воды, чем одноступенчатый, при одной и той же дозе сорбента или более полно использовать сорбционную емкость активированного угля и тем снизить его расход (схема *В*).

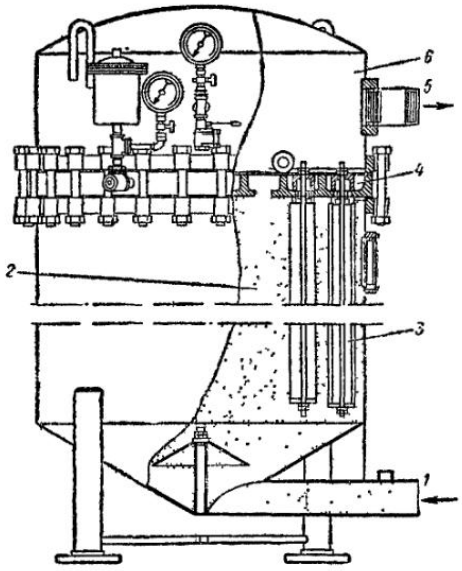


Рис. 5 39. Намывной патронный фильтр

1 — поступление сточной воды на очистку; *2* — камера сточной воды, *3* — фильтрующий патрон с намывным слоем, *4* — опорная плита для патронов; *5* — выход очищенной воды; *6* — камера очищенной воды

Еще большего использования сорбционной емкости можно добиться в многоступенчатом противоточном процессе. Угольную пульпу перекачивают навстречу сточной воде из последующих ступеней в предыдущие (схема *Г*). Недостатком такой установки является ее громоздкость.

В МИСИ имени В. В. Куйбышева разработан способ сорбционной очистки сточных вод фильтрованием через тонкодисперсный активированный уголь. Способ базируется на использовании в качестве адсорберов намывных фильтров (рис. 5.39). Технологическая схема представлена несколькими намывными фильтрами (схема *Д*). Первый из них с загрузкой вспомогательного фильтрующего порошка (диатомита, перлита и др.) устанавливается для задержания взвешенных загрязнений. Последующие фильтры представляют собой адсорберы с развитой поверхностью фазового контакта за счет того, что тонкодисперсный активированный уголь располагается на значительной поверхности намывных фильтров. Противоток в схеме организован переключением аппаратов с недонасыщенным углем навстречу сточной воде. Фильтрующий слой на внутреннюю поверхность фильтра намывается из бака-суспензатора с помощью насоса. Удаление (смыв) отработанного материала осуществляется обратным током воды. Смыв перлита производится после потери давления в нем 0,36 МПа, смыв угля — только с первого по ходу воды адсорбера при истощении его сорбционной способности.

Эта схема была испытана для очистки сточной воды от тринитротолуола с начальной концентрацией 50 г/м³ и конечной не более 0,5 г/м³. При поступлении воды 2 м³/ч на 1 м² фильтрующей поверхности наилучшими вариантами являются трехступенчатая адсорбция при расходе угля марки ОУ на каждой ступени 2,5 кг/м² (0,13 кг угля/м³ воды) и частоте перезарядки адсорберов $f = 2{,}5$ раза в сутки или четырехступенчатая адсорбция при расходе угля марки КАД 5 кг/м² (0,193 кг угля/м³ воды) и $f = 1{,}85$ раза в сутки

Такая схема обеспечивает высокое качество очищенной воды как по содержанию взвешенных веществ, так и по содержанию растворенных органических загрязнений. В системе очистки участвуют небольшие количества воды и угля, что предопределяет компактность аппаратуры.

Операции адсорбции и сепарации воды и угля совмещаются. Уголь при этом значительно меньше подвержен истиранию.

Расчет многоступенчатой адсорбционной установки производится решением системы уравнений материального баланса, выражающим простое соотношение: поступление=выход+накопление. Для намывных аппаратов, где сорбент располагается тонким слоем на развитой фильтрующей поверхности, движение сточной воды может быть принято подобным идеальному смешению. Периодом θ работы очистной установки является продолжительность времени между переключениями аппаратов навстречу движению сточной воды. Сточная вода в адсорбционные аппараты поступает с постоянной скоростью v, м/с. Если по прохождении последнего аппарата организовать перемешивание воды за период θ, то материальный баланс можно представить системой нелинейных алгебраических уравнений, каждое из которых выражает баланс поглощаемого загрязнения для каждого аппарата со среднимн значениями параметров за этот период θ:

$$\underbrace{C_{i-1}v}_{\text{поступление}} = \underbrace{C_i v}_{\text{выход}} + \underbrace{\beta V\left(a_i^* - a_i\right)}_{\text{накопление}}, \tag{5.52}$$

где C_{i-1}, C_i — средние концентрации загрязнений в сточной воде соответственно на входе и выходе для i-го аппарата, кг/м³;

β — средний коэффициент массопередачи, с$^{-1}$ (определяется для данного вида сорбента и сточной воды в предварительных опытах);

V — количество угля в i-м аппарате, кг/м², фильтрующей поверхности аппарата;

a_i^*, a_i — соответственно равновесная и текущая концентрация загрязнения на угле (сорбенте), кг/кг;

i — порядковый номер аппарата по ходу воды, т. е. $i=1, 2, 3, ..., N$.

Выразим уравнение (5.52) относительно концентрации загрязнения в воде на выходе из i-го аппарата

$$C_i^{\text{выч}} = C_{i-1} - \frac{\beta V\left(a_i^* - a_i\right)}{v}. \tag{5.53}$$

Величины a_i^* и a_i вычисляются по следующим эмпирическим формулам:

$$a_i^* = \frac{a_{\text{макс}}\dfrac{C_{i-1}+C_i}{2}}{K_1 + \dfrac{C_{i-1}+C_i}{2}};$$

$$a_i = \frac{(C_{i-1}-C_i)^{1,1}\, vt\,(n+1)}{2V}; \tag{5.54}$$

$$\text{здесь } n = \frac{\tau}{t};\quad t = 1\text{ч}.$$

Период насыщения сорбента τ определяется по формуле

$$\tau = \frac{\eta a^* V}{(C_{i-1}-C_i)v}, \tag{5.55}$$

где η — насыщение активированного угля в долях единицы.

Расчет многоступенчатой адсорбции с переключением аппаратов с недонасыщенным сорбентом навстречу движению сточной воды осуществляется «от ступени к ступени» с помощью ЭВМ.

Рассмотрим последовательность расчета i-й ступени. Задаются начальной концентрацией загрязнения в воде, выходящей из i-й ступени очистки C_i.

По формулам (5.53) и (5.54) вычисляют значение $C_i^{\text{выч}}$. Если найденное значение $C_i^{\text{выч}}$ не совпадает с принятым C_i, расчет ступени повторяют исходя из новых значений C_i (итерационный метод) до тех пор, пока не будет достигнуто удовлетворительное совпадение принятого значения с вычисленным.

Если расчет начинают с первой (по ходу воды) ступени, то должны быть известны скорость движения воды, концентрация загрязнения в поступающей воде и количество сорбента на ступени, т. е. соответственно v, C_0, V, а также исходные данные для вычисления по формулам (5.53) и (5.54), $a_{\text{макс}}$, K_1, β, η.

Полученная в результате расчета концентрация загрязнения в воде C_i является входной для $(i+1)$ ступени. Расчет продолжают до тех пор, пока не будет достигнуто значение концентрации загрязнения в воде на выходе из установки C_N при величине насыщения сорбента η. Значение C_N устанавливается из условия приема очищенной

воды в систему оборотного водоснабжения. Величина η зависит в основном от размера частиц активированного угля. Для тонкодисперсного активированного угля η принимается 0,8—0,9 от величины статической активности a^* по изотерме адсорбции при $C^* = \frac{C_0 + C_1}{2}$.

В результате расчета находят необходимое число ступеней очистки, концентрации загрязнения в воде между ступенями. Затем определяют период θ по формуле

$$\theta = \frac{\eta a^* (C_0, C_1) V}{v (C_0 - C_N)}. \qquad (5.56)$$

В США на берегу оз. Тахо в течение нескольких лет удовлетворительно работают сооружения доочистки сточных вод, включающие адсорбционную доочистку (табл. 5.14).

Таблица 5.14

Показатели эффективности работы фильтров из активированного угля на станции оз. Тахо (за двухлетний период)

Показатель	Среднее значение
Доза угля, кг/1000 м³ воды	25
Йодное число угля:	
использованного	583
регенерированного	802
Плотность угля, т/м³:	
использованного	0,57
регенерированного	0,49
Зольность угля, %	6,6
Величина ХПК сточной воды, мг/л:	
поступающей	19,5
выходящей	9,7
Цветность сточной воды:	
поступающей	15
выходящей	4
Показатель метиленовой сини сточной воды:	
поступающей	0,85
выходящей	0,13
Нагрузка органических загрязнений по ХПК на 1 кг регенерированного угля, кг	0,39

Для восстановления сорбционной емкости отработанный в процессе адсорбции активированный уголь обычно подвергается регенерации химическими растворителями, паром или термообработке.

Термическая регенерация активированного угля осуществляется в многотопочных печах. Общее время пребывания угля в печах колеблется от 30 до 60 мин при температуре от 600 до 900° С. Потери угля при этом составляют от 5 до 10%.

После адсорбционной очистки становится возможным повторное использование сточных вод в системе оборотного водоснабжения. Применение технологических сточных вод в системе оборотного водоснабжения решает не только задачу экономии свежей воды, но и радикального оздоровления водоемов.

Недостатком сорбционной очистки сточной воды является ее относительно высокая стоимость.

Эвапорационные способы очистки. Очистка производственных сточных вод эвапорационным способом состоит в том, что через сточную воду, нагретую приблизительно до 100° С, пропускается насыщенный водяной пар, который увлекает летучие примеси. Далее пар проходит через какой-либо нагретый также примерно до 100° С поглотитель, в котором из пара удаляются захваченные им примеси (регенерация пара);

освобожденный от них водяной пар снова направляется на очистку сточных вод.

Очистка сточных вод эвапорационным методом может производиться только в условиях прохождения пара навстречу протекающей водс. Аппарат, применяемый при эвапорационном методе, представляет собой колонну, состоящую из двух частей: эвапорационной, где происходит очистка сточных вод, и поглотительной, где происходит регенерация пара.

Преимущество эвапорационной очистки сточных вод по сравнению с другими методами регенеративной очистки заключается в том, что при этом способе в сточные воды не вводятся добавочные загрязнения в виде остающихся в воде реагентов.

Для многих увлекаемых с водяным паром летучих веществ при малых их концентрациях в растворе (что характерно для большинства сточных вод) между концентрацией вещества в жидкой фазе C и паровой фазе C_1 устанавливается равновесие:

$$C_1 = KC, \tag{5.57}$$

где K — коэффициент распределения вещества между паровой и жидкой фазами.

Значения коэффициента K для растворов некоторых веществ с 0,01—0,1 н. концентрацией приведены в табл. 5.15.

Таблица 5.15

Значения коэффициентов распределения K

Вещество	K	Вещество	K
Аммиак	13	Анилин	5,5
Метиламин	11	Метиланилин	16
Этиламин	20	Бензоланилин	3,3
Пропиламин	30	Фенол	2
Бутиламин	40	Парахлорфенол	1,3

Основные параметры, определяющие процесс эвапорации, связаны уравнением

$$C = \frac{(PK-1)C_0}{PKe^x - 1}, \tag{5.58}$$

где C_0 и C — начальная и конечная (после выхода из колонны) концентрации вещества в воде, г/л;

P — удельный расход пара, кг на 1 кг воды;

$$x = \frac{\rho}{b}\left(1 - \frac{1}{PK}\right)\sigma H,$$

здесь ρ — эмпирическая константа, м/ч;

b — плотность орошения колонны водой, м³/(м²·ч);

σ — удельная поверхность насадки, м²/м³;

H — высота слоя насадки в колонне, м.

Диаметр эвапорационных колонн от 0,8 до 3 м, высота слоя насадки H колеблется от 6 до 12 м. Плотность орошения обычно не превышает 3 м³/(м²·ч), расход пара P=0,5...1,5 кг/кг.

Значения удельной поверхности наиболее часто применяемых видов насадок приведены в табл. 5.16.

Для некоторых встречающихся на практике условий уравнение (5.58) может быть упрощено:

$$C = \frac{bC_0}{\rho\sigma H + b}, \tag{5.59}$$

Таблица 516

Удельная поверхность различных насадок

Насадка	Размер насадки, см	Удельная поверхность, м²/м³
Кольца:		
спиральные	7,5×7,5	95
гладкие	11,3×10	66
фарфоровые	2,5×2,5	110
«Шахматная»	22,5×11,3×6,8	22
Дробленый кокс	—	40
» кварц	7,5	45

тогда высота колонны

$$H = \frac{b\,(C_0 - C)}{C\rho\sigma}. \qquad (5.60)$$

В эвапорационных колоннах процесс протекает непрерывно. Пар, прошедший эвапорационную колонну, подается в поглотительную колонну, где происходит выделение захваченных веществ. Так, например, выделение фенола из пара достигается путем пропускания пара через нагретый до 100° С раствор щелочи. Щелочь переводит фенол в фенолята:

$$C_6H_5OH + NaOH = C_6H_5ONa + H_2O,$$

которые являются нелетучими, т. е. не уносятся водяным паром. Освобожденный от фенола пар снова подается в эвапорационную колонну.

В верхней части эвапорационной колонны концентрация отгоняемого вещества в сточной воде и паре максимальная. Насыщение пара происходит при равновесной концентрации, равной концентрации загрязненного вещества в сточной воде. Если концентрация загрязняющего вещества в сточной воде равна a г/л и ее надо снизить до b г/л, то из каждого 1 л воды надо удалить $(a—b)$ г. Концентрация загрязняющего вещества в выходящем паре будет aK г/кг, и для удаления $(a—b)$ г необходимо $\frac{a-b}{aK}$ кг пара на 1 л жидкости.

Так как в практических условиях трудно достигнуть равновесия, то пар приходится подавать в несколько большем количестве, чем это требуется по теоретическому расчету. Необходимо учитывать также расход пара на теплопотери через стенки, на нагревание жидкости и переведение в паровую фазу загрязняющего вещества.

Для извлечения фенола из пара применяют 10—20%-ный раствор гидроксида натрия. Теоретически необходимый расход последнего составляет 0,2 кг на 1 кг фенола; однако в производственных условиях его расходуется в 2—3 раза больше (0,5—0,6 кг/кг). В общей сложности на 1 м³ очищенной сточной воды расходуется: пара 20 кг, гидроксида натрия 2,2 кг, электроэнергии 18 кВт·ч.

Метод эвапорации достаточно прост, дает хорошие технико-экономические показатели и удобен для последующей биологической доочистки обесфеноленной сточной воды (отсутствуют дополнительные загрязнения, как, например, при обесфеноливании методами экстракции).

Флотационные способы очистки. Флотация применяется для удаления из сточных вод нефтепродуктов, жиров, поверхностно-активных веществ, волокон минеральной ваты, асбеста, шерсти и других нерастворимых в воде веществ с развитой поверхностью и мало отличающихся от воды по плотности. Флотационная очистка сточных вод обычно следу-

ет после извлечения из них осаждающихся и всплывающих примесей в нефтеловушках, жироловушках, отстойниках и производится во флотаторах. Вода, прошедшая флотаторы, может быть использована в системе оборотного водоснабжения предприятий или направлена на дальнейшую очистку от растворенных загрязнений.

Сущность процесса флотации заключается в том, что к диспергированным в тонкой суспензии пузырькам воздуха или газа прилипают частицы взвешенных веществ и всплывают вместе с пузырьками на поверхность очищаемой воды. При малых размерах пузырьков суммарная поверхность последних оказывается очень большой.

Эффект прилипания пузырьков воздуха к твердой или жидкой частице, взвешенной в воде, зависит от смачиваемости поверхности частицы, которая характеризуется величиной краевого угла θ (рис. 5.40). При большом значении θ поверхность частицы является гидрофобной и увеличивается вероятность прилипания к ней воздушного пузырька, а также прочность удержания этого пузырька на поверхности частицы. Таким образом, если воду, содержащую взвешенные частицы, насытить мельчайшими пузырьками воздуха, то частицы с гидрофобной поверхностью смогут сорбировать на ней пузырьки воздуха, а затем вместе с воздушными пузырьками всплывать и накапливаться на поверхности воды.

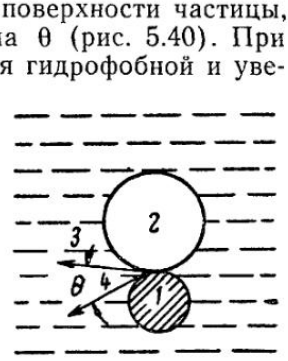


Рис 5 40. Схема прилипания пузырька воздуха к взвешенной частице

1 — взвешенная частица, *2* — пузырек воздуха, *3* — сточная вода, *4* — краевой угол смачивания

Существенное влияние на флотацию частиц оказывает поверхностное натяжение воды. Эффективная флотация возможна при поверхностном натяжении воды не более 60—65 мН/м. В тех случаях когда поверхностное натяжение выше 60 мН/м, приходится вводить поверхностно-активные добавки, например около 5—10 мг/л биологически легкоразрушающихся ПАВ (типа поверхностно-активных отходов производства синтетических спиртов). Однако флотация нефтепродуктов проходит хорошо в обычной воде с поверхностным натяжением 70—72 мН/м.

На эффект флотации значительное влияние оказывают размер и количество пузырьков воздуха, распределенных в воде. Поскольку взвешенные частицы загрязнений распределены во всем объеме сточной воды, то желательно, чтобы пузырьки воздуха также были распределены во всем объеме более равномерно. Крупные пузырьки воздуха всплывают слишком быстро, вызывая перемешивание воды, и не успевают закрепиться на поверхности взвешенных частиц. Поэтому эффективная флотация требует возможно более тонкого диспергирования воздуха. Оптимальным размером воздушных пузырьков считается 15—30 мкм. Следует указать, что флотационная очистка протекает достаточно успешно и при крупности пузырьков воздуха до 100 и даже 200 мкм.

Применяют различные способы диспергирования воздуха при флотации сточных вод: механическое диспергирование турбинкой насосного типа, продувание воздуха через мелкопористые материалы (фильтросные пластины), насыщение сточной воды воздухом при изменении давления (напорная флотация).

Практическое применение получили флотационные установки двух типов, отличающихся способом диспергирования воздуха: первый тип — флотация с механическим диспергированием воздуха турбинкой насосного типа; второй тип — диспергирование путем изменения давления (напорная флотация).

Флотационная установка с диспергированием воздуха турбинкой насосного типа (импеллером) состоит из флотационной машины конструкции завода Механобр, применяемой для очистки сточных вод от

нефтепродуктов (рис. 5.41). Сточная вода из приемного кармана поступает к импеллеру. Воздух засасывается им по специальной трубе. Над импеллером расположен статор в виде диска с отверстиями для внутренней циркуляции воды. Импеллер перемешивает воду и воздух и эту смесь выбрасывает из статора. Решетки, расположенные вокруг статора, способствуют более мелкому диспергированию воздуха в воде. Отстаивание пузырьков воздуха происходит над решеткой. Пена, содержащая нефтепродукты, удаляется лопастным пеносъемником. Из первой камеры вода поступает во вторую такой же конструкции, где происходит дополнительная очистка сточной воды.

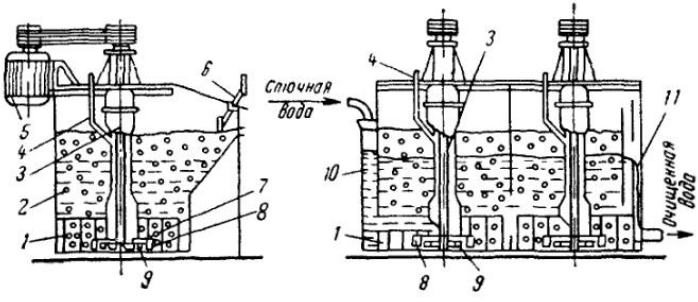


Рис. 5.41. Схема двухкамерной прямоточной флотационной установки

1 — решетка для мелкого диспергирования воздуха; *2* — флотационная камера; *3* — вал импеллера; *4* — воздушная трубка; *5* — электродвигатель; *6* — пеносниматель; *7* — отверстия в статоре для внутренней циркуляции воды; *8* — статор; *9* — импеллер; *10* — приемный карман; *11* — выпускной карман

Степень диспергирования воздуха зависит от окружной скорости вращения импеллера, которую принимают в пределах 12—15 м/с. Диаметр импеллера — не более 750 мм. Зона, обслуживаемая импеллером, не должна превышать размеров квадрата со стороной 6 $d_и$ ($d_и$ — диаметр импеллера). Высота флотационной камеры $H_ф$ принимается равной 1,5—3 м; продолжительность флотации $t_ф = 20...30$ мин.

Пропускную способность одной камеры флотатора, м³/ч, определяют по формуле

$$Q = \frac{36 d_и^2 H_ф}{0{,}025 t_ф}. \qquad (5.61)$$

Удельный расход воздуха D составляет 40—50 м³/ч на 1 м² поверхности флотационной камеры. Количество подаваемого импеллером воздуха, м³/ч,

$$q = 0{,}000278 D f, \qquad (5.62)$$

где f — площадь, обслуживаемая одной турбинкой, м² (в плане).

Необходимое количество флотационных камер можно определить как отношение расхода сточной воды к пропускной способности одной камеры, вычисленной по приведенной выше формуле.

Недостатком импеллерных флотаторов является относительно высокая обводненность пены.

Процесс напорной флотации растворенным воздухом осуществляется в две стадии: первая — насыщение воды воздухом под давлением; вторая — выделение пузырьков воздуха соответствующего диаметра и всплывание взвешенных и эмульгированных частиц примесей вместе с пузырьками воздуха. В зависимости от характера удаляемых примесей напорная флотация производится без реагентов или с их добавкой; в последнем случае эффект удаления примесей выше.

Насыщение сточных вод воздухом производится в напорных резервуарах под давлением. При последующем снижении давления во флотационной камере до атмосферного происходит образование и выделение очень мелких пузырьков воздуха, которые играют ту же роль, что и при безнапорной флотации.

Воздух вводят или непосредственно в сточную воду, поступающую во флотационную установку (рис. 5.42, *а*), или в возвращаемую в флотационную установку часть очищенных сточных вод (рис. 5.42, *б*).

Первый способ обеспечивает полное насыщение воды воздухом, но требует перекачки всего ее количества; второй позволяет использовать насос меньшей производительности; кроме того, при рециркуляции уменьшается объем напорного резервуара. Смешение рециркулируемой и неочищенной воды производится перед отстойной флотационной камерой при атмосферном давлении.

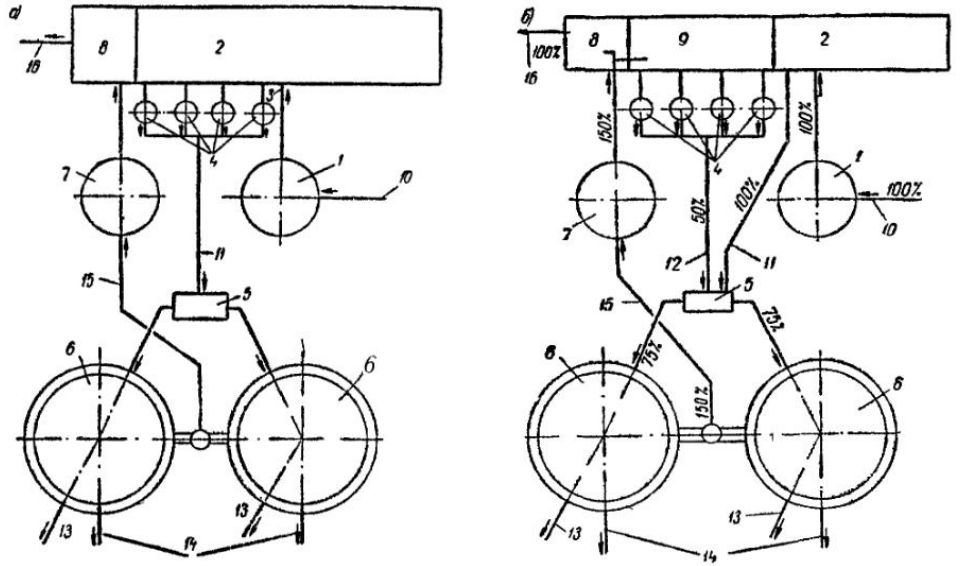


Рис. 5.42. Схема флотационной установки

а — без рециркуляции сточных вод; *б* — с рециркуляцией сточных вод; *1* — приемный резервуар сточных вод; *2* — насосная станция для подачи воды на флотацию; *3* — установка эжектора на всасывающем трубопроводе; *4* — напорные баки; *5* — камера смешения и распределения перед флотаторами; *6* — флотаторы; *7* — приемный резервуар очищенных сточных вод; *8* — насосная станция для подачи воды в систему оборотного водоснабжения или на биологическую очистку; *9* — насосная станция для подачи рециркуляционного расхода на флотацию; трубопроводы: *10* — подачи сточной воды из нефтеловушек; *11* — подачи воды на флотацию; *12* — подачи рециркуляционной воды, *13* — опорожнения флотатора; *14* — отвода пены; *15* — очищенной воды; *16* — оборотного водоснабжения

В СССР и за рубежом находят применение оба способа введения воздуха, хотя второй из них менее эффективен по полноте извлечения примесей и в меньшей степени удовлетворяет санитарным требованиям.

Подача воздуха в воду производится через всасывающий или напорный трубопровод перекачивающего насоса. В первом случае воздух засасывается эжектором, во втором — нагнетается компрессором.

Напорная флотационная установка включает сборные резервуары для сточной воды, насосно-эжекторную или компрессорную станцию, напорный резервуар и флотационную (отстойную) камеру с оборудованием для удаления всплывающей массы загрязнений в случаях предварительной коагуляции сточных вод; кроме того, предусматривается реагентная установка со складом реагента.

Сточная вода из сборного резервуара центробежным насосом подается в напорный контактный ревервуар, где поддерживается давление до 0,3—0,4 МПа. Здесь в течение 3 мин происходит растворение воздуха в воде в количестве 0,04—0,05 м^3 на 1 м^3 воды.

Объем воздуха, эжектируемого во всасывающий трубопровод насоса, составляет около 5% объема очищенной воды. Одновременно с воздухом

во всасывающий трубопровод подаются растворы реагентов, если производится коагуляция сточных вод.

Насыщенная воздухом вода выпускается из напорного резервуара в флотационную камеру. Здесь выделившиеся пузырьки воздуха всплывают вместе с захваченными ими частицами взвешенных веществ. Флотационная камера рассчитывается на пребывание в ней сточной воды в течение 20 мин. Всплывающая масса удаляется непрерывно движущимися скребками в сборные резурвуары.

При проектировании флотационных камер для расхода сточных вод до 100 м³/ч принимаются прямоугольные камеры глубиной 1—1,5 м, а для большего расхода — радиальные камеры глубиной не менее 3 м. Пропускная способность одной камеры не должна превышать 1000 м³/ч.

Недостатком напорной флотации является несколько бо́льшая продолжительность процесса, чем при импеллерном способе, что объясняется меньшим количеством выделяющегося воздуха. Однако при напорной флотации можно получить более мелкие пузырьки воздуха и достичь большей эффективности очистки сточных вод, особенно от тонкодиспергированных примесей.

Напорная флотация эффективно применяется для извлечения из сточных вод нефти и нефтепродуктов, животных и растительных масел и жиров, волокнистых веществ, отходов от проката алюминия и т. п.

Остаточное количество нефти в воде после напорной флотации 10—15 г/м³. Более высокая степень очистки достигается при применении реагентов (хлорида железа, сульфата алюминия и др.) и с использованием флокулирующих веществ, особенно при очистке сточной воды от эмульгированных нефтепродуктов, масел и жиров.

Опыты с добавлением глинозема показали, что при содержании нефтепродуктов после нефтеловушки 120—150 мг/л одноступенчатое флотирование снимает до 85—92% эфирорастворимых веществ и 68% $БПК_5$. Двухступенчатое флотирование увеличивает эффективность до 94—97% по эфирорастворимым и 79—81% по $БПК_5$.

Пенная флотация. Сущность процесса пенной флотации состоит в том, что частицы водных дисперсий, имеющих гидрофобную поверхность, способны прилипать к пузырькам газа и выноситься с ними в слой пены.

Для ведения процесса пенной флотации в сточной воде должны присутствовать поверхностно-активные вещества, обладающие достаточной пенообразующей способностью.

Сточные воды, насыщенные воздухом, поступают во флотатор снизу через вращающийся водораспределитель. Выделяющиеся из воды пузырьки воздуха всплывают вместе с частицами нефти. Пена вращающимся механизмом сгребается в лоток. Очищенная вода по вертикальным каналам переливается в отводящий переливной лоток. Для опорожнения флотатора и удаления осадка предусмотрен трубопровод.

Эффект флотации зависит от pH среды, температуры сточных вод и интенсивности подачи воздуха. Оптимальное значение pH определяется экспериментальным путем. Интенсивность подачи воздуха через фильтросы колеблется от 12 до 20 м³/(м²·ч). Продолжительность флотации составляет 20—45 мин в зависимости от состава сточных вод

Метод пенной флотации эффективно используется при очистке сточных вод, образующихся при переработке серных руд на элементарную серу. Эти сточные воды характеризуются высоким содержанием механических примесей (до 100 г/л), значительной минерализацией (до 3 г/л при однократном использовании воды), присутствием неокисленных соединений серы (сульфидов, сульфитов, тиосульфатов) и растворенных органических примесей (до 150 мг/л в пересчете на ХПК).

Производственные сточные воды сбрасываются в хвостохранилище,

где освобождаются от основной массы шлама, затем дополнительно осветляются в прудах-отстойниках, после чего часть сточных вод подвергается очистке от органических примесей.

Обработка воды производится во флотационных камерах с аэрированием воды сжатым воздухом (рис. 5.43). Диспергирование воздуха осуществляется с помощью аэраторов, изготовленных из керамических мелкопористых труб; удаление пенного слоя — с помощью скребковых пеносъемников. Пенный концентрат представляет собой раствор извлекаемых примесей и частично используется вновь в технологическом процессе, а избыточное его количество направляется в накопитель. Здесь под воздействием естественных факторов (аэрация, солнечная радиация и пр.) происходит улучшение состава пенного продукта до кондиций, позволяющих возвращать его в производство.

Эта схема позволяет использовать сточные воды в системе оборотного водоснабжения.

В очистке производственных сточных вод все шире используется флоктация, представляющая собой сочетание флокуляции и флотации. Флоктация применяется для удаления гидроксидов металлов в металлообрабатывающей промышленности, для извлечения жиров в пищевой промышленности, для извлечения волокон в целлюлозной и нефтепродуктов в нефтяной промышленности.

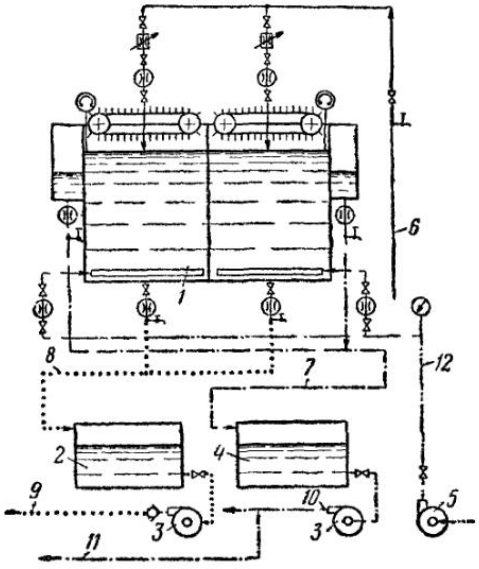


Рис. 5.43. Технологическая схема очистки оборотной воды методом пенной флотации

1 — флотокамера; *2* — сборник очищенной воды; *3* — насос; *4* — сборник пенного продукта; *5* — воздуходувка; трубопроводы. *6* — оборотной воды из пруда-отстойника; *7* — пенного продукта; *8* — очищенной воды; *9* — то же, в технологический процесс; *10* — концентрированного пенного продукта в накопитель, *11*—то же, в технологический процесс; *12* — подачи воздуха

Технология флоктации сводится к последовательному выполнению следующих операций: сточные воды интенсивно перемешиваются с $Al_2(SO_4)_3$ или $FeCl_3$ при оптимальном значении pH в каскаде флокуляционных камер с перегородками или мешалками в течение 20 мин; затем сточные воды поступают в нижнюю часть флотатора, куда одновременно подается вода в количестве 5—10% общего расхода сточных вод, перенасыщенная воздухом. Образующиеся пузырьки воздуха флотируют хлопья коагулянтов совместно со взвешенными веществами на поверхность воды. Время пребывания сточных вод во флотационной камере 15 мин. Остаточная концентрация коагулянтов в воде 0,2—0,3 мг/л. Флоктация обеспечивает необходимое снижение цветности железа и части легкоокисляемых органических загрязнений, которые характеризуются перманганатной окисляемостью сточной воды.

Электрофлотация. Метод электрофлотации — это процесс переноса вещества пузырьками газа, образующимися при электролизе. Благодаря электролизу размер пузырьков газа значительно меньше и они более равномерно распределяются в жидкости, чем при механической аэрации. Напряжение электрического тока принимается в пределах 6—12 *В*.

Отличительной особенностью электрофлотатора по сравнению с напорным флотатором является наличие двух рядов электродов и механизма, предназначенного для их очистки.

Флотаторы могут иметь прямоугольную или круглую форму в плане. Продолжительность флотации очищаемой жиросодержащей сточной воды при малой концентрации загрязнений (до 100 мг/л) должна быть 20 мин, при средней (свыше 100 мг/л) и большой — 30 мин. Высоту заполнения флотатора h следует принимать равной 1,8—2 м.

Полезная площадь флотатора F, м², рассчитывается по формуле

$$F = \frac{Qt}{60h}, \tag{5.63}$$

где Q — расход очищаемой жидкости, м³/ч,

t — время флотации, мин;

h — полезная высота заполнения флотатора, м.

Площадь электродов может быть принята равной $0{,}5F$. При этом упрощаются заготовка электродов, их замена и очистка. Сила тока должна исчисляться с учетом всей площади флотатора из расчета примерно 0,02 A на 1 см².

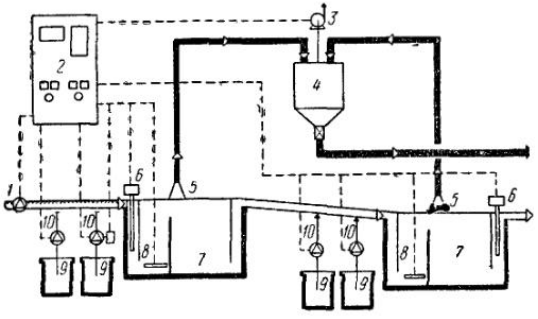


Рис. 5.44. Схема двухступенчатой электрофлотационной установки

1 — насос для подачи сточных вод, *2* — измерительный шкаф; *3* — вакуум-насос; *4* — илонакопитель, *5* — сборник корки; *6* — pH-метр; *7* — флотатор, *8* — электроды; *9* — емкость для реагентов; *10* — дозирующие насосы

В отдельных случаях, чтобы избежать опорожнения флотатора, электроды выполняются в виде отдельных секций, извлекаемых при необходимости при помощи тросов или специальных приспособлений.

Флотаторы круглой формы (в плане) более удобны для удаления жировой массы, всплывающей на поверхность, и для механической очистки электродов.

При электрофлотационном методе очистки сточных вод, содержащих коллоиды, эмульсии, применяются соответствующие коагулирующие вещества.

При очистке концентрированных сточных вод применяется двухступенчатая электрофлотация (рис. 5.44).

Затраты электроэнергии зависят от концентрации загрязнений и других факторов. При очистке среднезагрязненных сточных вод расход тока принимается из расчета 10 А на 1 м³ жидкости.

При использовании электрофлотации для обработки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов в жидкости протекают и другие процессы. Зачастую сточные воды этих заводов содержат $CaCl_2$. Под влиянием электролиза выделяется хлор, который окисляет содержащиеся в сточных водах органические вещества. При этом значительно снижается значение показателей БПК и ХПК сточных вод.

На электрофлотационной установке можно производить очистку сточных вод, содержащих эмульсию типа «масло в воде» (при условии предварительной их очистки коагуляцией). Остаточное содержание масел в очищенной воде составляет 3—5 мг/л. Всплывшее масло удаляется с помощью цепного конвейера и отводится в бункер, а затем утилизируется или подается в печь на сжигание.

Сооружения электрофлотационной установки выполняются из металла и имеют защитные покрытия во избежание коррозии.

Электролизер выполняется из стали или железобетона с облицовкой внутренней поверхности винипластовыми листами или гуммированием. Вся установка изолируется во избежание утечки тока. В качестве электродов используется листовой алюминий толщиной 2—3 мм. Число электродов и их размеры зависят от расходов сточной воды. При расчете количества электродов и площади их поверхности необходимо исходить из величины плотности тока, которая в зависимости от характера загрязнений стока может колебаться в пределах 0,02—0,035 А/см². Подключение постоянного тока к электродам в данном случае целесообразно делать однополярным. Напряжение в цепи должно поддерживаться в пределах 1,2—1,7 *В* при расходе электроэнергии на очистку 1 м³ сточной воды 0,6—0,4 кВт·ч. Расстояние между электродами не должно превышать 10 мм. Время контакта с электродами 10—20 мин.

При очистке с напряжением в цепи 1,2—2,7 *В* протекает главным образом коагуляция. При повышении напряжения до 4—20 *В* кроме значительного ускорения реакции анодного растворения алюминия будет происходить интенсивное выделение водорода на катоде. Это обусловит превалирование процесса флотации над коагуляцией.

Большое значение имеет регулирование pH среды. При очистке нефтесодержащих сточных вод корректируют pH воды до значения 8 с тем, чтобы при анодном растворении алюминия образовывался гидроксид алюминия. Если pH>8, то образуются алюминаты, растворяющиеся в воде и не участвующие в процессе очистки.

Электролизная установка должна быть снабжена устройством для сброса воды, содержащей хлопья коагулянта и пены, непрерывно накапливающейся на ее поверхности. Сточная вода совместно с суспендированным в ней гидроксидом алюминия из электролизера поступает в отстойник. Продолжительность отстаивания принимают около 2 ч. Из отстойника осветленная вода поступает на скорые кварцевые фильтры для более глубокого освобождения от взвешенных частиц, а затем на ионитовые фильтры для обессоливания. Очищенная вода используется в системе оборотного водоснабжения. Шлам коагулянта из отстойника перекачивается на иловые площадки для обезвоживания, после чего может быть вывезен в отвалы или может быть регенерирован серной или соляной кислотой и использован как дополнительный коагулянт при очистке сточной воды.

Ионный обмен. Одним из способов очистки производственных сточных вод, отличающихся высокой токсичностью, является ионный обмен. Ионитами возможно извлекать из сточных вод соединения мышьяка и фосфора, цианистые соединения и радиоактивные вещества, а также хром, никель, цинк, свинец, медь, ртуть и другие металлы.

В качестве ионообменных материалов используются как природные глауконитовые пески, так и искусственные алюмосиликаты типа пермутита, селикагели, сульфоуголь и синтетические смолы.

Ионообменные свойства смол обусловлены наличием в их структуре функциональных, химически активных ионных групп. На пространственной молекулярной сетке смолы фиксируется положительный или отрицательный заряд. В соответствии с этим ионообменные синтетические смолы делятся на две основные группы: катиониты КУ-1, КУ-2-8, КУ-2-20 и аниониты АВ-17, ЭДЭ-10п. Катиониты чаще всего принимаются в H^+- и Na^+-формах, а аниониты — в OH^-- и Cl^--формах.

При очистке сточных вод особенно важно правильно выбрать марку ионообменной смолы, которая определяет гранулометрический состав, плотность сухого и набухшего ионита, набухаемость, обменную емкость. Применяемые в практике ионообменные смолы характеризуются следующими показателями: емкость поглощения 6—10 мг-экв иона на 1 г смолы, набухаемость 200—300%, термостойкость 60—160 °С.

После полного насыщения смол в процессе ионообмена их регене-

рируют. Регенерация катионитов заключается в пропускании через отработавшую смолу 10—15%-ного раствора серной кислоты со скоростью фильтрования 2—4 м/ч. Для анионитов регенерацию можно проводить 10—15%-ным раствором хлористого натрия со скоростью 1 м/ч. Возможны и другие условия регенерации.

Схема очистки сточных вод гальванических производств ионообменным методом представлена на рис. 5.45.

Сточные воды гальванического производства поступают в приемные резервуары *1* и *9* по двум отдельным сетям канализации: а) сеть

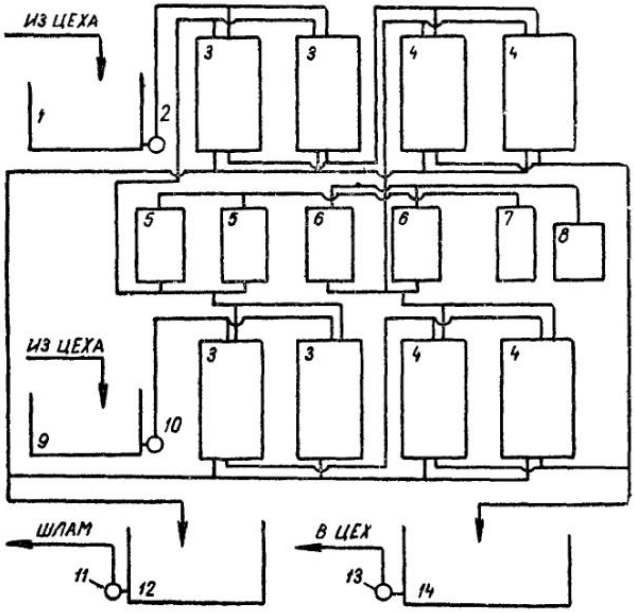


Рис. 5 45 Технологическая схема очистки гальванических сточных вод ионообменным методом

1 — сборник хромсодержащих стоков, *2* — насос для подачи стоков, *3*—катионитовые фильтры, *4* — анионитовые фильтры; *5* — сборники раствора кислоты; *6* — сборники раствора щелочи, *7* — кислотный мерник; *8* — щелочной мерник; *9* — сборник кислотно-щелочных стоков; *10* — насос подачи кислотно-щелочных стоков на фильтры; *11* — насос перекачки шлама в отстойник; *12* — нейтрализатор, *13* — насос подачи воды в цех; *14* — сборник обессоленной воды

для кислого хромсодержащего стока: б) сеть для смешанного кислотно-щелочного стока.

Кислые хромсодержащие стоки из сборника *1* насосом *2* через песчано-гравийный фильтр (на схеме не показан) подаются на катионитовый фильтр *3*, загруженный смолой КУ-2-8 в Н-форме. Катионит обеспечивает извлечение из сточных вод трехвалентного хрома и тяжелых металлов (медь, цинк, и др.), попадающих в процессе гальванической обработки в промывные воды. Фильтрат из катионитового фильтра с содержанием хромовой кислоты и свободных сильных кислот поступает на анионитовый фильтр *4*, загруженный смолой АВ-17-8. В результате ионного обмена происходит полное извлечение из стоков всех примесей, нейтральная обессоленная вода из сборника *14* насосом *13* подается снова на гальваническое производство.

Регенерация катионита производится 5%-ным раствором соляной кислоты. Кислота из сборника *5* сжатым воздухом подается в фильтр *3*. Водород кислоты обменивается в смоле на катионы тяжелых металлов. Соли тяжелых металлов поступают в нейтрализатор *12*. Образовавшийся шлам насосом *11* подается на фильтр-прессы.

Регенерация анионита происходит аналогично, но 5%-ным раствором щелочи, подаваемым из сборника раствора щелочи *6*.

Очистка смешанных кислотно-щелочных стоков производится аналогично очистке хромсодержащих стоков.

На заводе «Чувашкабель» внедрена в производство установка для очистки сернокислых медьсодержащих производственных сточных вод, образующихся в результате травления и промывки медной катанки

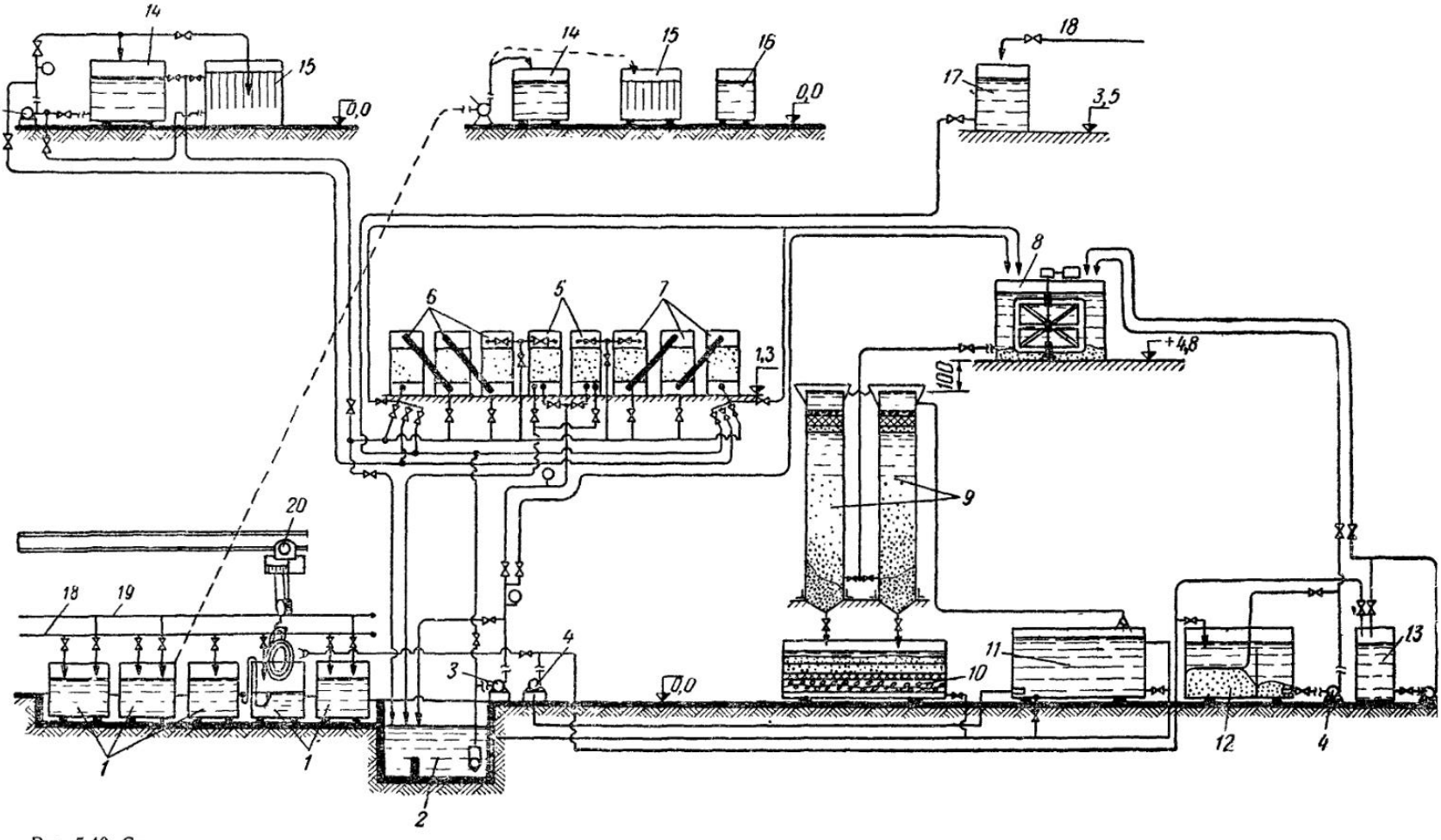


Рис. 5.46. Схема очистки промывных медьсодержащих сточных вод травильного участка, позволяющая использовать очищенную воду повторно

1 — травильные ванны; *2* — усреднитель; *3* — кислотостойкий насос; *4* — насос; *5*—фильтры; *6* и *7* — ионитовый фильтр; *8* — реактор; *9* — осветлители; *10* — фильтр шламовый; *11* — емкость очищенной воды; *12* — гидромешалка для приготовления известкового молока; *13* — гидромешалка для коагулянта; *14* — промежуточная емкость для кислоты; *15* — ванна регенерации; *16* — емкость для промывки электродов; *17* — емкость чистой воды; *18* — водопровод; *19* — паропровод; *20* — подъемное устройство

(рис. 5.46). Очищенные сточные воды используются в системе оборотного водоснабжения.

Принцип работы установки основан на совмещении ионообменного и реагентного методов очистки.

Стоки из травильных ванн поступают в усреднитель, из которого с помощью кислотостойкого насоса через фильтры и батареи ионитовых фильтров перекачиваются в реактор. Фильтры предназначены для осветления стоков от взвешенных частиц. Фильтрующим материалом являются стекловолокно или древесные опилки.

Н-катионитовые фильтры применены для предварительного улавливания из стоков меди. Они загружены гранулированной смолой размером зерен 0,3—1,95 мм, марки КУ-2-8 в водородной форме.

Регенерация Н-катионитовых фильтров производится раствором химически чистой серной кислоты. Раствор поступает в ионитовые фильтры и находится там в течение 2—3 ч. Фильтры, промытые затем водой от избытка кислоты и меди, снова приходят в рабочее состояние.

Из фильтров стоки с раствором серной кислоты поступают в реактор, где происходит нейтрализация серной кислоты. В реактор одновременно с кислотными стоками подается 3—5%-ное известковое молоко. Для интенсификации процесса в реактор подается также 0,1%-ный раствор полиакриламида. После перемешивания в течение 15—20 мин нейтрализованные стоки из реактора поступают в осветлитель вертикального типа со взвешенным осадком и встроенным в верхней части фильтром, представляющим собой металлическую решетку с двумя слоями гравия и одним слоем стекловолокна. Стоки, проходя через слой взвешенного осадка, зону осветления и зону дополнительного фильтрования, поднимаются к кольцевому сборному желобу и самотеком отводятся в емкость для очищенной воды.

§ 142. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Наиболее полная очистка производственных сточных вод, содержащих органические вещества в растворенном состоянии, достигается биологическим методом. При этом используются те же процессы, что и при очистке бытовых вод, — аэробный и анаэробный. Для аэробной очистки применяют аэротенки различных конструктивных модификаций, окситенки, фильтротенки, флототенки, биодиски и биологические пруды; при анаэробном процессе для высококонцентрированных сточных вод, применяемом в качестве первой ступени биологической очистки, основным сооружением служат метантенки.

Для полной очистки высококонцентрированных сточных вод применяют анаэробно-аэробное окисление.

Скорости аэробного окисления при биологической очистке производственных сточных вод изменяются в широких пределах от 10 до 30 мг/г активного ила в 1 ч (в пересчете на беззольное вещество) и являются функцией видового и количественного состава активного ила, начальной концентрации загрязнений, требуемой степени очистки, биохимической структуры загрязнений, а также физических параметров процесса (интенсивности перемешивания, pH, температуры и т. д.). Чем выше исходная концентрация загрязнений (до определенных пределов) и чем меньше требуемая степень очистки, тем выше скорость окисления Скорости аэробного окисления и анаэробного сбраживания определяют экспериментально.

При биологической очистке производственных сточных вод для развития микробиальных культур должны быть созданы оптимальные условия. В этом направлении наиболее перспективными являются аэротенки, работающие с высокими дозами активного ила; окситенки, снаб-

жаемые чистым кислородом, и аэротенки с неравномерно-рассредоточенным впуском сточной воды.

Оценкой биохимического процесса, проходящего в том или ином сооружении, является так называемая окислительная мощность. Она исчисляется количеством граммов кислорода, получаемого с 1 м³ сооружения в сутки и израсходованного для окисления органических ве-

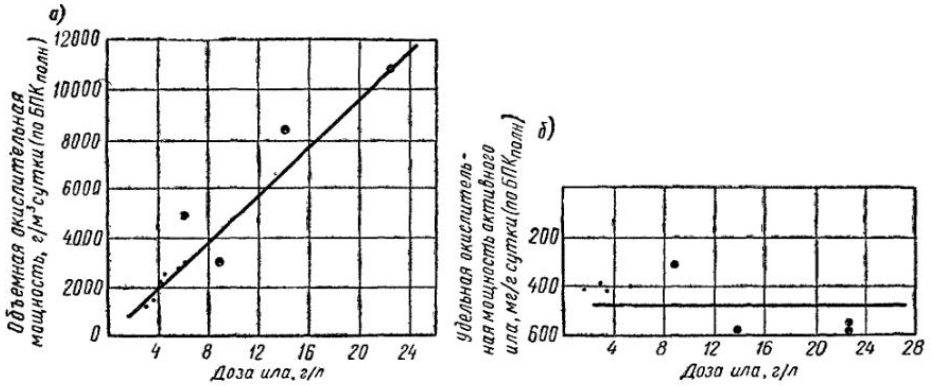


Рис 5.47. Зависимость объемной окислительной мощности аэротенка *а* и удельной окислительной мощности ила *б* от дозы активного ила

ществ — аммонийной соли до нитритов и нитратов и т. п. Окислительная мощность сооружений весьма различна: от нескольких сот граммов (биопруды) до нескольких килограммов (рис. 5.47) (аэротенки с высокой дозой активного ила).

Биологическая очистка производственных сточных вод в аэробных условиях

Способ биологической очистки в аэробных условиях возможен, если содержащиеся в производственных сточных водах органические и минеральные вещества способны окисляться в результате биохимических процессов и если условия среды, т. е. наличие растворенного кислорода, величина pH, температура и концентрация в воде вредных веществ не превышают те предельно допустимые величины, при которых не нарушается жизнедеятельность микроорганизмов. Во всех случаях очищаемая вода должна содержать необходимое количество биогенных элементов (азота, фосфора, калия, железа и др.).

Многие производственные сточные воды приходится подвергать предварительной обработке и добавлять в них биогенные элементы.

Почти все органические вещества в соответствующих условиях разрушаются под воздействием бактерий.

Окисление загрязнений сточных вод протекает тем полнее, чем больше величина отношения $БПК_{полн}$: ХПК (величина отношения $БПК_{полн}$: : ХПК должна быть не менее 0,4).

Как показывает опыт, биохимическому окислению легко поддаются органические соединения алифатического ряда (сложные эфиры, кислоты); легко окисляются также бензойная кислота, этиловый и амиловый спирты, гликоли, хлоргидриды, ацетон, глицерин, анилин и ряд других веществ. При длительной адаптации микроорганизмов достигается распад даже таких устойчивых соединений, как толуол, ксилол, углеводороды нефти, хлорзамещенные углеводороды и др. Однако окисление некоторых из органических веществ происходит настолько медленно, что содержащие такие вещества сточные воды нецелесообразно подвергать биологической очистке. Наиболее неблагоприятное влияние на ход

биохимических процессов оказывает присутствие в сточных водах солей тяжелых металлов.

Основной причиной нарушения нормальной работы биологических сооружений являются залповые сбросы производственных вод с высокой концентрацией медленно окисляемых соединений. Значительные затруднения при биологической очистке вызывают стоки текстильных предприятий, содержащие СПАВ (синтетические поверхностно-активные вещества). Поэтому на таких предприятиях должны быть установки по извлечению вредных веществ из сточных вод перед их биологической очисткой.

Сильно концентрированные сточные воды требуется предварительно обрабатывать до допустимых пределов (по $БПК_{полн}$).

В активном иле, образующемся при очистке производственных сточных вод, видовой состав микроорганизмов сильно не различается, несмотря на исключительно большое разнообразие самих окисляемых загрязнений. В большей части илов доминирует микрофлора рода Pseudomonas.

В результате длительной направленной селекции микроорганизмов, выращиваемых только на одном веществе, служащем им единственным источником углерода, могут быть получены такие культуры, которые будут усваивать это вещество даже при высоких его концентрациях. Эти культуры могут быть успешно использованы при очистке сточных вод, загрязненных каким-либо одним веществом, например фенолом; в большинстве же случаев целесообразно использовать биоценоз микроорганизмов (активный ил).

Виды микроорганизмов этого биоценоза отбираются в процессе длительной работы биоокислителя на сточной воде данного состава. Изменение качества очищаемой воды и ее концентрации обусловливает необходимость адаптации микроорганизмов. Их способность к адаптации имеет большое значение при биологической очистке производственных сточных вод.

Процесс очистки протекает более устойчиво и полно в тех случаях, когда очищают смесь производственных и бытовых сточных вод. Объясняется это тем, что бытовые воды содержат необходимые биогенные элементы, а также служат для разбавления. Часто для быстрой инокуляции очистных сооружений микроорганизмами — минерализаторами к производственным водам добавляют бытовые воды, особенно в пусковой период.

После «созревания» очистных сооружений, когда микроорганизмы приспособятся к утилизации специфических загрязнений производственных вод, приток бытовых вод может быть уменьшен или прекращен вообще.

Как уже отмечалось, производственные сточные воды, подвергающиеся биологической очистке, не должны содержать в своем составе ядовитые вещества и соли тяжелых металлов (меди, свинца, цинка, хрома, ртути и т. п.) в концентрациях, которые были бы вредны для жизнедеятельности микроорганизмов. Допустимые концентрации некоторых вредных веществ на сооружениях полной биологической очистки приведены в табл. 5.17. Как видно из таблицы, наличие в сточной воде меди в количестве более 0,5 мг/л приводит к замедлению биохимических процессов, а при 10 мг/л они практически прекращаются. Тормозящее действие свинца сказывается уже при содержании его 0,1 мг/л; с повышением концентрации это действие усиливается: при 1 мг/л замедляются процессы нитрификации, а при 5 мг/л депрессия становится полной. При необходимости снижения $БПК_{полн}$ производят разбавление сточных вод менее концентрированными, условно чистыми или очищенными водами.

Необходимую степень разбавления бытовыми водами определяют исходя из того, чтобы их величина $БПК_{полн}$ была более или менее посто-

Таблица 5.17

Допустимые концентрации и степень удаления отдельных веществ из сточных вод на сооружениях полной биологической очистки

Вещество	Допустимая концентрация, мг/л	Степень удаления в процессе полной очистки, %
Нефть и нефтепродукты	25	85—90
Синтетические поверхностно-активные, «биологически мягкие» (окисляющиеся на сооружениях биологической очистки) :		
анионные	20	80
неионогенные	50	90
Промежуточные:		
анионные	20	60
неионогенные	20	75
Формальдегид	25	80
Сульфиды	1	99,5
Медь	0,5	80
Никель	0,5	50
Кадмий	0,1	60
Хром (3-валентный)	2,5	80
Цинк	1	70
Сернистые красители	25	90
Синтетические красители (активные, дисперсные, кислотные, кубовые, прямые, металлосодержащие)	25	70
Мышьяк	0,1	50
Цианиды (кроме ферроцианидов)	1,5	—
Ртуть	0,005	—
Свинец	0,1	50
Кобальт	1	50

Примечание При наличии в сточных водах смеси анионных и неионогенных ПАВ общая концентрация не должна превышать 20 мг/л

янна; в среднем она составляет 40 г/сутки на одного человека, пользующегося канализацией. Величина $БПК_{полн}$ производственных вод берется по данным анализов.

В зависимости от характера органических веществ необходимое разбавление m (отношение количества бытовых вод к производственным) по $БПК_{полн}$ может быть найдено по формуле

$$m = \frac{L_п - L_{см}}{L_{см} - L_б}, \tag{5.64}$$

где $L_п$ — начальная $БПК_{полн}$ производственных вод, мг/л;
$L_{см}$ — начальная $БПК_{полн}$ общего стока, мг/л;
$L_б$ — начальная $БПК_{20}$ бытовых вод; $L_б = 40\,000\,q$, здесь q — среднесуточное количество бытовых вод на одного человека, мг/л.

Предельная величина $БПК_{полн}$ сточных вод, поступающих на биологическую очистку, не должна быть более 500—1000 мг/л.

При совместной очистке производственных и бытовых стоков достигается экономия капитальных затрат, которая определяется по формуле

$$\Delta K = Y_к K_к - [(Y_б + Y_к) K_с - Y_б K_б], \tag{5.65}$$

где ΔK — экономия капитальных затрат при совместной очистке производственных и бытовых стоков, руб.;
$Y_б$, $Y_к$ — количество бытовых и производственных сточных вод соответственно, м³/год;

$K_к$, $K_б$, $K_с$ — удельные капитальные затраты на очистку производственных, бытовых и смеси производственных и бытовых стоков соответственно, руб.

Экономия эксплуатационных затрат составит:

$$\Delta C = Y_к C_к - [(Y_б + Y_к) C_с - Y_б C_б], \quad (5.66)$$

где ΔC — экономия эксплуатационных затрат при совместной очистке производственных и бытовых стоков, руб/год;

$C_к$, $C_б$, $C_с$ — себестоимость очистки отдельно производственных, бытовых и смеси бытовых и производственных сточных вод соответственно, руб/м³.

Экономический эффект, получаемый в результате очистки производственных сточных вод, разбавленных бытовыми стоками, составит:

$$\Delta П_с = \{V_к K_к - [(V_в + V_к) K_с - V_в K_б]\} E_н + V_к C_к - \\ - [(V_б + V_к) C_с - V_б C_б], \quad (5.67)$$

где $E_н$ — нормативный коэффициент экономической эффективности.

В том случае, если бытовых стоков недостаточно для разбавления производственных сточных вод, используют условно чистые стоки или речную воду. Это приводит к увеличению объема очистных сооружений, необходимых для обезвреживания производственных стоков. При направлении на сооружения биологической очистки производственных сточных вод, разбавленных условно-чистыми водами, затраты увеличиваются пропорционально степени разбавления на величину, определяемую по формуле

$$П_у = Y_к m_б (K_б E + C_б), \quad (5.68)$$

где $П_у$ — затраты на биологическую очистку в зависимости от степени разбавления, руб/год;

$m_б$ — степень разбавления.

При разбавлении производственных стоков чистой речной водой необходимо учитывать затраты на подачу этой воды, равные:

$$П_р = Y_к m_б (K_{под} E_н + C_{под}), \quad (5.69)$$

где $П_р$ — затраты на подачу речной воды, руб/год;

$K_{под}$ — удельные капитальные затраты на подачу речной воды.

Общие затраты на биологическую очистку производственных стоков при разбавлении их речной водой будут равны:

$$П_о = Y_к [П_б (K_б E_н + C_б) + (П_б - 1)(K_{под} E_н + C_{под})], \quad (5.70)$$

где $П_о$ — затраты на биохимическую очистку производственных стоков при разбавлении их речной водой, руб/год.

Этот метод расчета позволяет определить приближенно экономическую эффективность биологической очистки производственных стоков при разбавлении их бытовыми, условно-чистыми, биологически очищенными стоками или речной водой. В результате установлено, что в большинстве случаев наиболее эффективной является совместная биологическая очистка производственных и бытовых стоков. Эксплуатационные затраты при этом составляют 5—10 коп/м³, а при большом разбавлении производственных стоков условно-чистыми стоками и чистой водой технико-экономические показатели биологического метода настолько ухудшаются, что возникает необходимость в применении других методов очистки сточных вод. Например, в отдельных случаях при необходимости разбавления производственных стоков перед биологической очисткой чистой водой в 100 раз эффективнее очищать данные стоки методом анаэробного сбраживания.

При совместной биологической очистке городских и производственных сточных вод механическая их очистка может производиться как сов-

местно, так и раздельно. Раздельная механическая очистка обязательна, если производственные сточные воды должны быть подвергнуты механо-химической или физико-химической очистке.

На рис. 5.48 приведены объединенные сооружения биологической очистки сточных вод г. Калинина мощностью 220 тыс. м³/сутки, разработанные институтом Гипрокоммунводоканал и введенные в действие в 1971 г. Характерной особенностью очистных сооружений г. Калинина

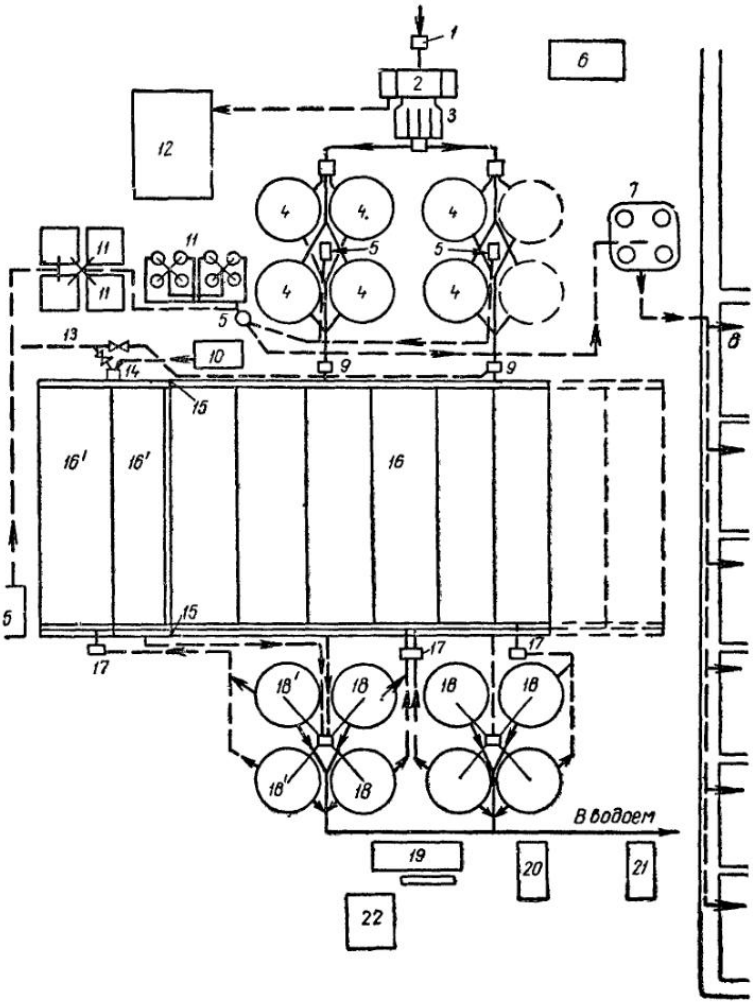


Рис. 5.48. Схема очистных сооружений для совместной биохимической очистки бытовых и производственных сточных вод

1 — приемная камера; *2* — здание решеток, насосная станция и тепловой пункт; *3* — песколовка, *4* — первичные отстойники; *5* — иловые насосные станции; *6* — административно-хозяйственный корпус; *7* — метантенки; *8* — иловые площадки; *9*, *14* — камеры смешения; *10* — здание биогенных добавок; *11* — илоуплотнители; *12* — песковые площадки; *13* — напорные водоводы производственных сточных вод; *15* — щитовые затворы; *16*—аэротенки-смесители для городских сточных вод; *16'* — аэротенки-смесители для производственных стоков комбината искусственного волокна; *17* — эрлифтные установки, *18*—вторичные отстойники для городских сточных вод; *18'* — то же, для производственных стоков комбината искусственного волокна; *19* — воздуходувная, *20* — мастерская; *21* — хлораторная; *22* — электроподстанция

является то, что они принимают для совместной очистки как бытовые, так и загрязненные сточные воды от промышленных предприятий города.

По данным исследований, сточные воды характеризуются высокими значениями $БПК_{20}$ — 250—350 мг/л, ХПК — 320—500 мг/л, повышенным содержанием меди, аммонийного азота, красителей и других загрязнений. Поэтому для наиболее токсичных сточных вод промышленных предприятий предусмотрена предварительная их очистка на локальных сооружениях. Так, для предприятий синтетического волокна необходима предварительная очистка промышленных стоков от солей меди и аммиака, для предприятий машиностроительной промышленности — от масло- и нефтепродуктов и ионов тяжелых металлов.

Наиболее тщательной предварительной очистке должны подвергаться промышленные стоки комбината синтетического волокна, в составе

которых в большом количестве содержатся соли цинка (41 мг/л), серная кислота (156 мг/л), сульфат натрия (2300 мг/л), сероуглерод (40 мг/л), $БПК_{20}$ этих стоков 450 мг/л, pH = 2,5...2,75.

После локальной очистки сточных вод для полной очистки эти воды нуждаются в обработке активным илом. Поэтому проектом предусмотрена биологическая очистка производственных сточных вод комбината синтетического волокна вместе с бытовыми водами города в аэротенках-смесителях.

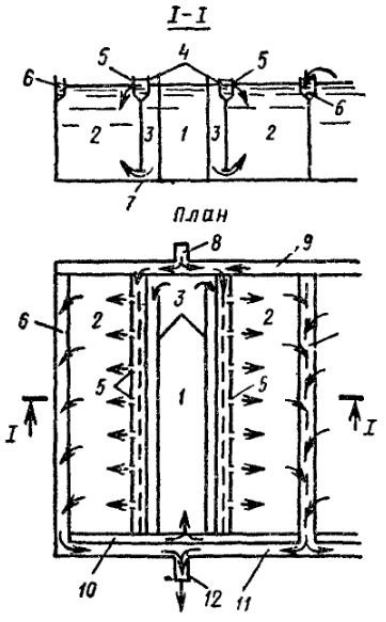


Рис. 5 49. Схема аэротенка-смесителя

1 — регенератор; *2* — аэрационное отделение, *3* — распределительные каналы активного ила; *4* — распределительные каналы отстоенной воды, *5* — впуск отстоенной воды в аэрационное отделение; *6* — сборный канал аэрируемой жидкости; *7* — входные отверстия активного ила, *8* — подводящий канал от первичных отстойников; *9* — сборный канал «сырой» воды; *10* — верхний канал активного ила; *11* — сборный канал аэрируемой жидкости; *12* — отводящий канал

Согласно принятой схеме очистки сточных вод, они поступают в приемную камеру *1* и по самотечному каналу в здание решеток *2*. Здание решеток сблокировано с песколовками, насосной станцией для перекачки дробленой массы и тепловым пунктом.

Из песколовок сточная вода поступает в первичные радиальные отстойники *4* (их диаметр 40 м), где происходит отстаивание воды в течение 1,5 ч. Осветленные в отстойниках сточные воды через камеры смешения *9* поступают в аэротенки-смесители *16* и *16′*, где происходит биологическая очистка сточной воды в смеси с активным илом при искусственной аэрации воздухом.

Из аэротенков-смесителей иловая смесь направляется на вторичные отстойники *18* и *18′*, диаметр которых также 40 м. Продолжительность отстаивания во вторичных отстойниках 2 ч. Очищенная сточная вода обеззараживается хлором и по трубопроводу диаметром 2 м направляется в водоем. Активный ил из вторичных отстойников перекачивается в канал аэротенков с помощью эрлифтов, установленных в специальной камере *17*.

Избыточный активный ил подается насосами в илоуплотнители *11*, откуда вместе с сырым осадком из сооружений механической очистки перекачивается в метантенки *7* для дальнейшей обработки и подсушки на иловых площадках.

Окислительная мощность аэротенков-смесителей по $БПК_{20}$ принята равной 720 г/(м³·сутки) при расходе воздуха 40 м³ на 1 кг снижаемой $БПК_{20}$. Продолжительность аэрации в секциях аэротенков-смесителей городских вод 12 ч, в секции аэротенков-смесителей производственных стоков комбината — 7,7 ч.

Удельный расход воздуха для городских сточных вод составляет 11,9 м³/м³, для промышленных стоков — 7,7 м³/м³.

Производственные сточные воды комбината синтетического волокна по самостоятельным напорным водоводам *13* подаются в аэротенки-смесители *16′* через камеру смешения *14*, куда подается также раствор биогенных веществ.

Секции аэротенков-смесителей городских и промышленных сточных вод отделены друг от друга щитовыми затворами *15*, установленными в распределительном канале осветленных вод, в канале активного ила и распределительном канале вторичных отстойников. Под регенератор

активного ила выделено 33% объема аэротенка-смесителя. По принятой технологической схеме работы аэротенка-смесителя (рис. 5.49) отстоенные сточные воды поступают в сборный канал *9* и из него в распределительные каналы *4*. Через отверстия *5*, расположенные по всей длине каналов *4*, сточные воды попадают в аэрационные отделения *2*.

Активный ил поступает в регенератор *1* из верхнего канала *10*. Подача регенерированного ила в аэрационные отделения осуществляется через отверстия *7*, расположенные в нижней части перегородок (по всей длине). Размеры отверстий определяются по расчету в зависимости от расхода активного ила.

Иловая смесь из аэротенков отводится через постоянный водослив канала *6* по всей его длине в сборный канал *11*, который сообщается с распределительным каналом вторичных отстойников.

При такой схеме работы достигаются наиболее полное смешение активного ила со сточной водой, а также равномерная скорость окисления органических веществ по всему объему сооружения.

Конструкция внутренних перегородок аэротенков-смесителей выполнена из облегченных сборных элементов, что дает экономию капитальных затрат. Количество возвратного активного ила составляет около 50% общего расхода сточных вод, подаваемых в аэротенки.

Для подачи возвратного активного ила применяются эрлифты.

Воздух к эрлифтам подается в количестве примерно 1 м³ на 1 м³ перекачиваемой жидкости.

Фактическая стоимость строительства сооружений 5,9 млн. руб., стоимость строительства сооружений в расчете на 1 м³ суточной производительности станции 26,5 руб.

Данные, характеризующие эффективность работы очистных сооружений, приведены в табл. 5.18.

Таблица 5.18

Эффективность работы очистных сооружений

Показатель	Характеристика сточных вод, мг/л	
	до очистки	после очистки
$БПК_5$	300	10,9
ХПК	400—600	90,1
Взвешенные вещества	160—240	5—9

Количество биогенных элементов (азота, фосфора) в смеси производственных и бытовых сточных вод определяется из соотношения $БПК_{полн} : N$ и $БПК_{полн} : P$; для многих видов сточных вод N составляет 2,3—4% $БПК_{полн}$, а $P = 0{,}3...0{,}8$ $БПК_{полн}$, и лишь в отдельных случаях, как, например, для нефтесодержащих сточных вод, количество азота увеличивается до 5—10%, а фосфора — до 1,4% $БПК_{полн}$. При недостатке фосфора добавляют ортофосфорную кислоту, фосфор которой легко усваивается микроорганизмами (вводится 0,1%-ный раствор KH_2PO_4).

Минимальные количества биогенных элементов для интенсивного биохимического процесса очистки смеси бытовых и производственных сточных вод составляют на каждые 100 мг/л $БПК_{полн}$: азота 5 и фосфора 1 мг/л.

При определении количеств биогенных элементов, которые необходимо добавить в очищаемую смесь, считается, что с бытовыми стоками вносится примерно 8 г азота и около 1,7 г фосфатов на одного человека в сутки.

Кроме основных биогенных элементов необходимы также Mg, Ca, S, Fe и др.; эти элементы имеются в сточных водах в достаточном количестве, поэтому обычно добавлять их не приходится.

Биогенные элементы наиболее легко усваиваются в том случае, когда они находятся в соединениях, аналогичных соединениям протоплазмы

клетки. Например, азот в веществах клетки содержится в восстановленном состоянии (NH_4^+), фосфор — в окисленном состоянии (в форме H_3PO_4).

Недостаток биогенных элементов гормозит процесс биохимического окисления; искусственная добавка их стимулирует рост бактерий, а следовательно, и интенсифицирует окисление органических веществ. Длительный недостаток азота при биологической очистке сточных вод приводит также к образованию труднооседающего активного ила и к потерям его в результате выноса из вторичных отстойников.

В жизни микроорганизмов чрезвычайно велика и роль фосфора, так как он входит в состав наиболее активных веществ клетки, в частности — в ферменты.

При недостатке в сточных водах фосфора в активном иле развиваются нитчатые формы бактерий, обусловливающие медленное его оседание. Происходит замедление роста активного ила и снижение интенсивности окисления органических веществ.

Роль остальных элементов еще недостаточно ясна, однако имеющиеся экспериментальные данные показывают, что повышение в сточной воде концентрации таких элементов, как железо, до 5 мг/л и магния (в виде $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) до 8 мг/л приводит к стимуляции процесса биологической очистки производственных сточных вод. Интенсификация процессов окисления может быть достигнута путем введения экзогенных стимуляторов.

Потребность в биогенных элементах постоянна, так как прирост микроорганизмов при окислении различных веществ различен; поэтому при очистке производственных сточных вод в каждом конкретном случае она должна устанавливаться экспериментально.

В качестве биогенных элементов применяют диаммоний фосфат, фосфорнокислый калий, аммиачную селитру, аммиачную тукосмесь, суперфосфат и др. При щелочной воде применяют фосфорную кислоту, а при нейтральной или слабощелочной воде — фосфаты.

Предварительный расчет необходимого количества биогенных элементов производится следующим образом.

При введении азота в виде фосфорнокислого аммония $(NH_4)_3PO_4 \cdot 3H_2O$ последний требуется в количестве, кг/сутки:

$$M = \frac{n \cdot 203}{42} Q;$$

при введении фосфата в виде фосфорнокислого калия необходимое его количество, кг/сутки, составит:

$$M = \frac{n \cdot 348}{142} Q,$$

здесь n — недостающее количество азота или фосфорного ангидрида в кг на 1 м³ очищаемых сточных вод;

203 и 348 — молекулярная масса соответственно фосфорнокислого аммония и фосфорнокислого калия;

42 и 142 — молекулярная масса соответственно азота и ангидрида фосфорной кислоты P_2O_5;

Q — количество сточных вод, м³/сутки.

При определении дозы вводимых веществ следует учитывать, что избыток их остается в очищенной воде и, попадая в водоемы, может способствовать процессу эвтрофикации, что нежелательно с точки зрения сохранения чистоты водоема.

Биогенные вещества добавляют в виде сильно измельченного порошка или в виде раствора, что более предпочтительно. Во всех случаях они подаются в специальный резервуар-смеситель, куда поступают также сточные воды.

На небольших очистных установках допускается подача биогенных веществ непосредственно в аэротенк.

Для приготовления раствора биогенных веществ и их дозирования применяется такое же оборудование, как и при коагуляции или нейтрализации производственных сточных вод.

Резервуары для приготовления раствора суперфосфата оборудуются мешалками с небольшой частотой вращения (12—25 мин$^{-1}$). Для ускорения растворения лучше применять теплую воду с температурой 40—50° С. Перед сливом в расходные баки приготовленный раствор отстаивается в течение 0,5—1,5 ч. Осадок направляется в накопитель или на площадки для подсушивания. Резервуары для приготовления растворов биогенных добавок и смесителя необходимо выполнять из коррозиестойких материалов.

Кроме раствора суперфосфата в смеситель биогенных добавок обычно подается раствор аммиачной воды при дозе по азоту 10 мг/л (раствор водного аммиака содержит 16,4% азота). Для хранения поступившего раствора устраиваются резервуары, рассчитанные на 15—30-суточную потребность; располагаются они вне здания. Для уменьшения потерь аммиака необходимо предусматривать орошение надземных резервуаров летом.

Из резервуаров-хранилищ аммиачная вода перекачивается в сборники-мешалки, оборудованные вентиляционными установками. В сборниках концентрация аммиачной воды доводится до 5%. Приготовленный раствор поступает в смеситель биогенных добавок.

Следует учитывать, что смесь выделившегося из воды аммиака с кислородом взрывоопасна. Поэтому все резервуары и аппаратура, где возможно выделение аммиака, герметизируют; принимаются также и другие меры техники безопасности.

Оптимальная для развития микроорганизмов величина активной реакции сточных вод лежит в пределах pH=7—8; при величинах pH более 8,5 и менее 6,5 биохимические процессы замедляются. Поэтому в случаях отклонения активной реакции сточных вод от указанных пределов предусматривается ее предварительная корректировка.

Скорость биохимических процессов очистки сточных вод в большой степени зависит от температуры среды. При температуре сточных вод ниже 6 °С жизнедеятельность микроорганизмов, а следовательно, и их активность резко снижаются; при температуре свыше 37 °С заметно уменьшается скорость нитрификации в связи с уменьшением в воде растворенного кислорода. Оптимальной является температура 20—28 °С (в присутствии термофильных бактерий может идти аэробный процесс и при 67 °С). При этом в активном иле находится наибольшее количество видов микроорганизмов. С повышением температуры очищаемой воды до 37 °С необходимо увеличение в 1,2 раза подачи воздуха для аэрации.

Для биологической очистки производственных сточных вод применимы те же основные типы сооружений, что и для очистки бытовых сточных вод. Выбор типа сооружений производится с учетом количества и специфических особенностей очищаемых сточных вод, а также с учетом требований к качеству очищаемой воды. Наиболее производительными и управляемыми сооружениями являются аэротенки различных конструктивных модификаций. Поэтому при прочих равных технико-экономических показателях для биологической очистки производственных сточных вод предпочтение следует отдавать аэротенкам. При концентрации стока по $БПК_{полн}$ до 500 мг/л, отсутствии в сточных водах трудноокисляемых загрязнений и устойчивой технологии производства могут применяться аэротенки с сосредоточенной подачей сточных вод и активного ила в начале аэротенка (аэротенки-вытеснители).

К достоинствам аэротенков-вытеснителей следует отнести высокую

степень использования рабочего объема, устойчивую рабочую дозу активного ила в зоне аэрации и отсутствие «проскока» неокисленных загрязнений, а к недостаткам — пониженные кинетические показатели вследствие неравномерной нагрузки на активный ил в течение его рабочего цикла.

При величине $БПК_{полн}$ более 500 мг/л или при наличии в очищаемом стоке медленноокисляемых веществ, а также при непостоянстве состава сточных вод рекомендуется применять аэротенки-смесители (рис. 5.50) различных конструктивных модификаций.

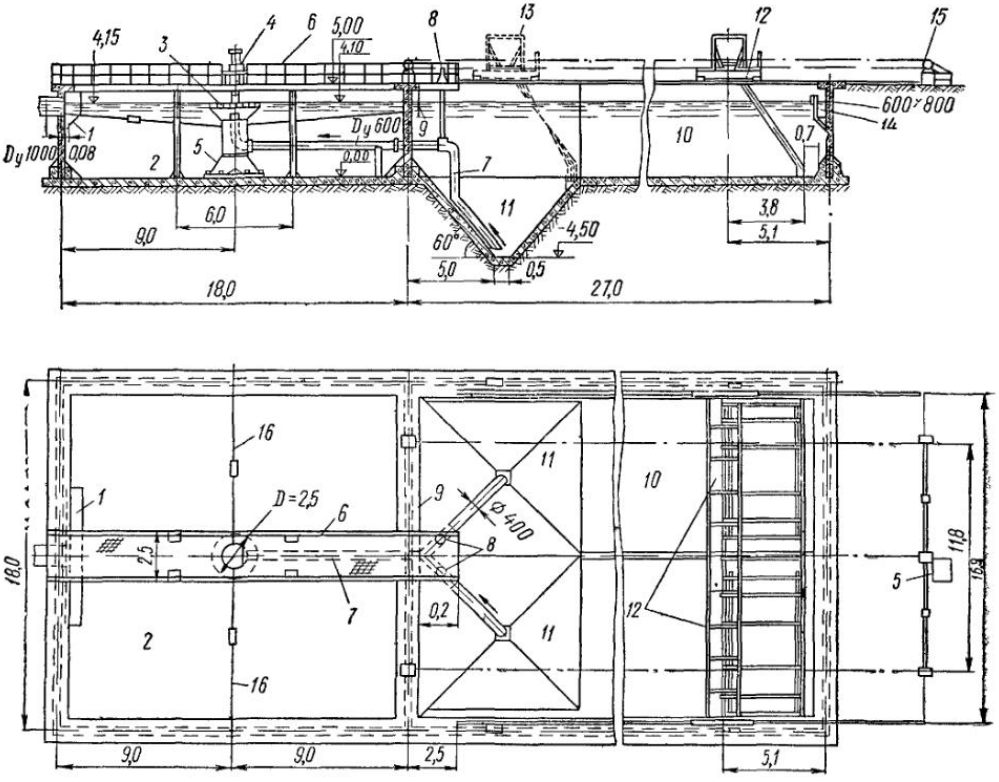


Рис. 5.50. Блок аэротенка-смесителя и вторичного отстойника на общую пропускную способность 10 тыс. м³/сутки
(диаметры лотков и трубопроводов даны в мм)

1 — распределительный лоток; *2* — зона аэрации, *3* — механический поверхностный аэратор; *4* — электропривод аэратора, *5* — стабилизатор потока; *6* — технологический мостик; *7* — циркуляционный илопровод; *8* — регулирующая заслонка; *9* — стенка с переливными отверстиями; *10* — зона отстаивания; *11* — иловые конусные приямки; *12* — скребковая тележка в начальном положении; *13* — то же, в крайнем положении; *14* — отводной лоток; *15* — лебедка скребковой тележки; *16* — натяжные тросы стабилизатора потока

Новыми конструкциями являются аэротенки-смесители из сборного железобетона: трехкоридорные с размерами коридора 6×5×42 м и 6×5×60 м; четырехкоридорные с размерами коридора 9×5, 2×150 м.

К достоинствам аэротенков-смесителей относятся высокая скорость окисления загрязнений и способность очищать концентрированные сточные воды, к недостаткам — «проскок» загрязнений с очищенной водой.

Аналитическими и экспериментальными исследованиями, выполненными в МИСИ имени В. В. Куйбышева, доказана возможность создания нового типа аэротенка, объединяющего достоинства аэротенка-вытеснителя и аэротенка-смесителя, определены гидравлические параметры так называемого аэротенка с нелинейно-рассредоточенным впуском сточных вод. Расчеты показывают, что рассредоточенная подача сточных вод про-

порционально концентрации активного ила повышает среднюю рабочую дозу ила в аэротенке и позволяет существенно сократить рабочий объем сооружения. Аэротенк, имеющий нелинейно-рассредоточенный впуск сточных вод при постоянстве удельных нагрузок на активный ил, обладает высокой объемной скоростью окисления загрязнений, характерной для смесителя, а также позволяет исключить «проскок» неокисленных загрязнений, в результате чего достигается такое же качество очищенной воды, как в аэротенке-вытеснителе (рис. 5.51).

Расчет и конструирование биоокислителей для производственных сточных вод ведутся на основании экспериментальных данных. Исход-

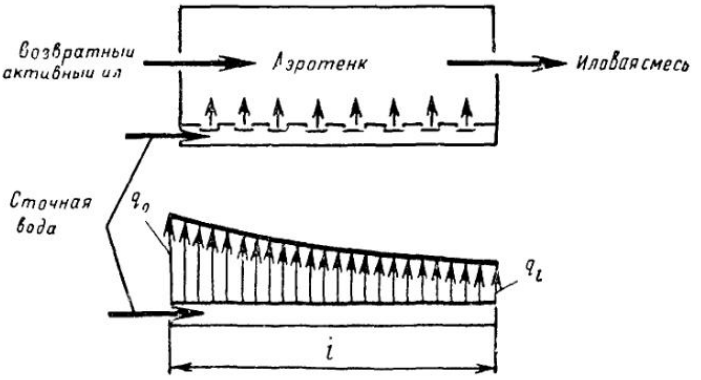


Рис. 5.51. Принципиальная схема аэротенка с неравномерно рассредоточенным впуском сточной воды

q_0, q_l — расход сточной воды соответственно в начале и в конце аэротенка; l — длина аэротенка

ными данными при расчетах служат результаты анализов сточных вод, главным образом величина $БПК_{полн}$. Учитывают также общую концентрацию растворенных солей, которая должна быть не более 10 г/л. При длительной адаптации активного ила допускается повышение концентрации некоторых солей. При наличии только NaCl допускается повышение концентрации растворенных солей до 20 г/л.

Однако для сточных вод многих отраслей промышленности показатель $БПК_{полн}$ не отражает действительной концентрации в них органических веществ; более полно эти вещества характеризуются показателем ХПК. Значения $БПК_{полн}$ и ХПК в производственных водах колеблются в весьма широких пределах (табл. 5.19).

Поэтому в отличие от бытовых стоков, зная величину только какого-либо одного показателя (ХПК или $БПК_{полн}$), нельзя определить расчетом величину другого, а следовательно, нельзя судить о возможной полноте минерализации органических веществ производственных стоков при биологической их очистке. При ориентировочных расчетах можно принимать, что $БПК_{полн}$ составляет 0,6—0,8 ХПК.

Чем больше разница между ХПК и $БПК_{полн}$, тем больше прирост биомассы в искусственных биоокислителях. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе типа окислителя. Очевидно, что для очистки стоков, характеризующихся большой величиной ХПК и малой $БПК_{полн}$, не следует применять обычные биофильтры и аэрофильтры с мелкозернистым загрузочным материалом, так как заиливание таких сооружений биопленкой неизбежно. Для таких сточных вод необходимо применение аэротенков-смесителей различных типов.

Величина прироста биомассы определяется экспериментально в процессе исследования сточных вод и выяснения эффективности методов их очистки или принимается по данным опыта эксплуатации очистных сооружений для аналогичных сточных вод.

Необходимый объем аэротенков-смесителей определяют исходя из окислительной мощности этих сооружений по величине $БПК_{полн}$, выра-

Таблица 5.19

Биохимическая и химическая потребность в кислороде отдельных органических веществ и допустимые их концентрации в чистом растворе и в общем стоке, поступающем на биологическую очистку

Вещество	$БПК_{полн}$, мг/мг вещества	ХПК, мг/мг вещества	Допустимая концентрация (в чистом растворе при очистке в аэротенках-смесителях), мг/л	Средняя скорость окисления (в чистом растворе при очистке в аэротенках-смесителях), мг $БПК_{полн}$ на 1 г сухого вещества активного ила в 1 ч	Допустимая концентрация в общем стоке городских коммунальных канализаций (полная очистка в аэротенках при дозе ила 1,8 г/л и длительности аэрации 7 ч), мг/л
Анилин	1,9	2,4	100	9	6
Ацетатальдегид	1,07	1,82	750	12	20
Ацетон	1,68	2,17	600	28	40
Бензойная кислота	1,61	1,97	150	14	15
Бутанол	1,8	2,58	600	15	10
Глицерин	0,86	1,23	1150	30	90
Капролактам	1,8	2,12	300	22	25
Кротоновый альдегид	1,6	2,5	400	5,5	6
Метанол	1,05	1,5	950	23	30
Пропанол	1,68	2,4	600	18	12
Резорцин	1,5	1,89	500	12,2	12
Толуол	1,1	1,87	200	8	15
Уксусная кислота	0,86	1,06	200	26	45
Уксусно-этиловый эфир	1,49	1,8	500	20	13
Фенол	1,18	2,38	1000	14	15
Этанол	1,45	2,08	700	19	14

Примечания: 1. $БПК_{полн}$ сточных вод, направляемых на очистные сооружения, должна определяться по сумме всех веществ, загрязняющих эти воды

2. Средняя скорость окисления многокомпонентных смесей должна приниматься по экспериментальным данным, при отсутствии этих данных для расчетов продолжительности аэрации допускается принимать скорость окисления как средневзвешенную величину скоростей окисления входящих в многокомпонентную смесь веществ

3. Концентрации веществ, указанные в последней графе таблицы, принимают для приближенных расчетов в случае присоединения промышленных объектов к действующим городским канализациям и уточняют в процессе эксплуатации.

жаемой в г на 1 м³ объема сооружения в сутки, а также в зависимости от требуемой степени очистки вод.

Окислительная мощность (*ОМ*) аэротенков при очистке производственных сточных вод зависит от характера содержащихся в них загрязнений и пропорциональна количеству активного ила в зоне аэрации. Величина *ОМ* колеблется в широких пределах. Так, например, при очистке сточных вод, загрязненных спиртами (метиловым, этиловым и др.), *ОМ* на 1 м³ объема аэротенка в сутки при дозе активного ила 3 г/л составляет 720—1200 г (по величине $БПК_{полн}$); для сточных вод, загрязненных органическими кислотами (стеариновой, масляной, уксусной), — 400—1400 г; для сточных вод, содержащих бензол, анилин, формалин, — 600—700 г; для сточных вод, загрязненных фенолами, — 2000 г/(м³×сутки).

При отсутствии экспериментальных данных величину *ОМ* принимают равной 720 г $БПК_{полн}$ на 1 м³ объема аэротенка в сутки при дозе активного ила в зоне аэрации 3 г/л.

Объем аэротенка W для очистки сточных вод, загрязненных каким-либо одним веществом, определяют из следующей зависимости:

$$W = Q_{ср.ч} t = Q_{ср.ч} \frac{L_н - L_к}{OM}, \qquad (5.71)$$

где $Q_{ср.ч}$ — средний часовой (за период аэрации) приток сточных вод, м³/ч;

t — продолжительность аэрации,ч;

$L_н$ — $БПК_{полн}$ поступающих сточных вод, г/м³;

$L_к$ — $БПК_{полн}$ очищенной воды, г/м³;

OM — окислительная мощность аэротенков для данного вида сточных вод по $БПК_{полн}$, г/(м³·ч).

При биологической очистке производственных сточных вод, содержащих различные органические примеси, следует учитывать то, что скорость изъятия загрязнений различного состава неодинакова. Так, например, для спиртов она колеблется (по величине $БПК_{полн}$) от 30 до 60 г на 1 м³·ч при дозе активного ила 3 г/л; для органических кислот — от 15 до 70 г на 1 м³·ч; для фенолов — около 15 г на 1 м³·ч, а для таких загрязнителей, как гидрохинон, крезол, глицерин, — 7—14 г на 1 м³·ч.

Продолжительность очистки сточных вод, содержащих различные загрязняющие вещества, следует определять экспериментальным путем в условиях, максимально приближенных к производственным.

Общий расход воздуха и интенсивность аэрации следует определять исходя из максимальной величины $БПК_{полн}$ очищаемой сточной воды и максимальной концентрации активного ила, а не по средним значениям этих показателей.

Расход воздуха в м³ на 1 м³ очищаемой жидкости определяют по формуле

$$D = \frac{L_н}{3dpH}, \qquad (5.72)$$

где $L_н$ — $БПК_{полн}$ поступающей в аэротенк жидкости, г/м³;

d — дефицит кислорода в сточной воде, в долях от насыщения, для бытовых сточных вод $d=0{,}8$; для газогенераторных $d=0{,}24$; для смеси $d=0{,}75$;

p — использование кислорода воздуха, %, при $H=1$ м и $d=1$, принимаемое при распределении воздуха фильтросами равным 4,34%;

H — рабочая глубина аэротенка, м.

Площадь аэротенка F, м², определяют из принятой его глубины:

$$F = \frac{W}{H}. \qquad (5.73)$$

Для очистки высококонцентрированных сточных вод ($БПК_{полн}$ более 1000 мг/л) широкое применение находят двухступенчатые аэрационные сооружения. Преимуществом этих сооружений по сравнению с одноступенчатыми является более устойчивая их работа при перегрузках и колебаниях концентрации сточных вод.

Обычно активный ил каждой ступени циркулирует, не смешиваясь один с другим. Благодаря этому микроорганизмы могут хорошо приспособиться к окислению загрязнений, поступающих на ту или другую ступень.

В качестве первой ступени целесообразно применять аэротенки-смесители, в качестве второй — аэротенки-вытеснители.

Аэротенки первой ступени устраивают с регенераторами; вторая ступень может быть и без них. Наличие регенераторов, как отмечалось ранее, облегчает условия эксплуатации сооружений в случае образования труднооседающего активного ила и при резких изменениях состава и концентрации сточных вод. Объем регенераторов обычно составляет 25—50% объема аэротенков.

Результаты исследований работы другой схемы двухступенчатых аэротенков, состоящей из высоконагружаемого аэротенка-смесителя без рециркуляции ила (процесс суперактивной аэрации) и аэротенка-отстойника, показали, что за счет создания условий питания и аэрации, благо-

приятных для развития высокоактивных бактериальных илов в сооружении первой ступени и илов с преимущественным развитием прикрепленных и свободно плавающих простейших в сооружении второй ступени, обеспечивается высокое качество очистки (до $БПК_5$ 10 мг/л при $БПК_5$ исходной воды 390—450 мг/л). При этом капитальные затраты снижаются более чем на 30% по сравнению с затратами по схеме двухступенчатой очистки в обычных аэротенках.

К особенностям высоконагружаемых аэротенков относятся: нагрузка на ил выше 1000 мг $БПК_5$/(г·сутки), возможность работы без первичного отстаивания (при $БПК_5$ поступающей воды 120 мг/л), снижение удельного расхода кислорода на переработку загрязнений и увеличенный прирост ила. Очистка сточной воды в них проходит до 20 мг/л по $БПК_5$. В таких аэротенках активный ил поддерживается в фазе логарифмического роста и характеризуется высокой скоростью обмена веществ.

Избыточный активный ил второй ступени нередко направляют в первичные отстойники с тем, чтобы использовать его коагулирующее действие и сорбционную способность. Избыточный активный ил первой ступени направляют в илоуплотнитель, а оттуда на дальнейшую обработку. При такой схеме очистки величина $БПК_{полн}$ жидкости, поступающей на первую ступень, может быть увеличена до 2000 мг/л (вместо 300—350 мг/л при одноступенчатой очистке). Значительно увеличивается и окислительная мощность аэротенка первой ступени — до 1800 г/($м^3$××сутки).

В ряде случаев применение двухступенчатой схемы биологической очистки позволяет получить не только более устойчивую работу комплекса очистных сооружений, но и сократить их объем.

Недостатком двухступенчатой схемы является необходимость устройства промежуточных вторичных отстойников и связанной с ними системы распределительных лотков. Однако этот недостаток компенсируется более высоким и устойчивым эффектом очистки сточных вод.

Способы предотвращения пенообразования в аэротенках. При очистке в аэротенках производственных сточных вод некоторых отраслей промышленности образуется пена, что отрицательно влияет на работу аэрационных сооружений, снижая их производительность и ухудшая качество очищенной воды. Пенообразование большей частью зависит от величины pH очищаемой сточной воды, заметно увеличиваясь при ее повышении, от дозы активного ила в зоне аэрации, снижаясь при его повышении, и от содержания СПАВ.

Образование пены в аэротенках вызывается содержащимися в производственных сточных водах поверхностно-активными веществами, а также маслянистыми составными частями органических примесей. Эти вещества, находясь в сточных водах в растворенном или коллоидном виде, не выделяются при отстаивании и остаются в сточной воде, способствуя сильному и устойчивому пенообразованию.

Применяемые в практике очистки сточных вод меры по предупреждению пенообразования разделяются на три основные группы: способ предварительного удаления из воды СПАВ или других компонентов, обусловливающих образование устойчивой пены, способы предотвращения пенообразования путем применения противопенных добавок, способы разрушения пены — гидравлические, электрические, термические, химические и др.

Более широко применяются в практике очистки сточных вод гидравлические способы гашения пены.

Аэротенк с оборудованием для гидравлического гашения пены показан на рис. 5.52.

В качестве рабочей жидкости для гашения пены используется поступающая в аэротенк или находящаяся в нем сточная вода. Первая из них содержит значительно меньше взвешенных веществ, поэтому вероят-

ность засорения насадок в этом случае уменьшается; также исчезает опасность дробления хлопьев активного ила и ухудшения его осаждаемости во вторичных отстойниках.

Во избежание выхода из аэротенка неочищенной воды конечный участок ($^1/_8$—$^1/_{10}$ часть общей длины аэротенка) душируется очищенной сточной водой, взятой после вторичных отстойников.

В настоящее время исследуются химические противовспениватели и пеногасители.

Наиболее эффективные противовспениватели и пеногасители были испытаны на аэротенке очистных сооружений целлюлозно-бумажного комбината. Производительность аэротенка 3000 м³/ч, интенсивность аэрации 5 м³/(м²·ч), концентрация активного ила 2—3 г/л, температура сточной воды 20° С. Высота слоя пены в аэротенке 1—1,3 м. Были испытаны

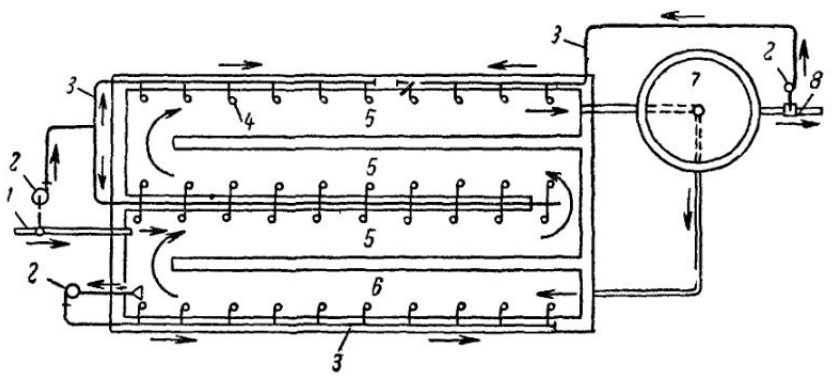


Рис. 5.52. Схема пеногашения

1 — водоподающий лоток; *2* — насосы; *3* — распределительная сеть; *4* — насадки; *5* — аэротенки; *6* — регенератор; *7* — вторичный отстойник; *8* — водоотводящий лоток

в качестве пеногасителей фракции спиртов C_7—C_{11} и смесь спирта C_7—C_{11} с эмульсией 21-2А. Раствор пеногасителя в аэротенк поступал самотеком или под напором через сопла с навинчивающимся насадком, которые располагались на расстоянии 0,5—1 м от продольной стенки и на различной высоте от уровня жидкости. Насадок имел выходное отверстие 3, 5 и 10 мм. Сопла устанавливались выходным отверстием под различным углом к горизонту. Гашение пены производилось в точках, расположенных на различном расстоянии от входа жидкости в коридор, у места расположения фильтросов, на противоположной от них стороне, в различных коридорах и регенераторе и т. д.

Подача раствора осуществлялась непрерывно и периодически, вплоть до частичного или полного разрушения пены.

Расход водного раствора эмульсии составлял 0,2—0,3 г/м³, фракции спиртов C_7—C_{11}—0,1—0,2 г на 1 м³ сточной воды.

Стоимость пеногашения смесью спирта и эмульсии равнялась 1,5 руб. за 1000 м³ сточной воды.

Рекомендуемые для предотвращения пенообразования дозы рабочих растворов пеногасителей не являются токсичными для микроорганизмов активного ила и практически не повышают БПК обрабатываемой сточной воды. Используемые спирты в процессе биологической очистки разрушаются полностью.

Интенсификация работы сооружений биологической очистки. Одним из основных способов интенсификации работы сооружений биологической очистки производственных сточных вод является повышение дозы активного ила в зоне аэрации. Для этого в аэротенках необходимо применение новых способов отделения ила, обеспечивающих его быстрый

возврат в зону аэрации. Одним из таких способов может быть метод напорной флотации. На основании опытов, проведенных на Новогорьковском НПЗ, скорость разделения концентрированной иловой смеси при напорной флотации растворенным воздухом возрастает в 7 раз по сравнению с гравитационным разделением; повышение концентрации ила в

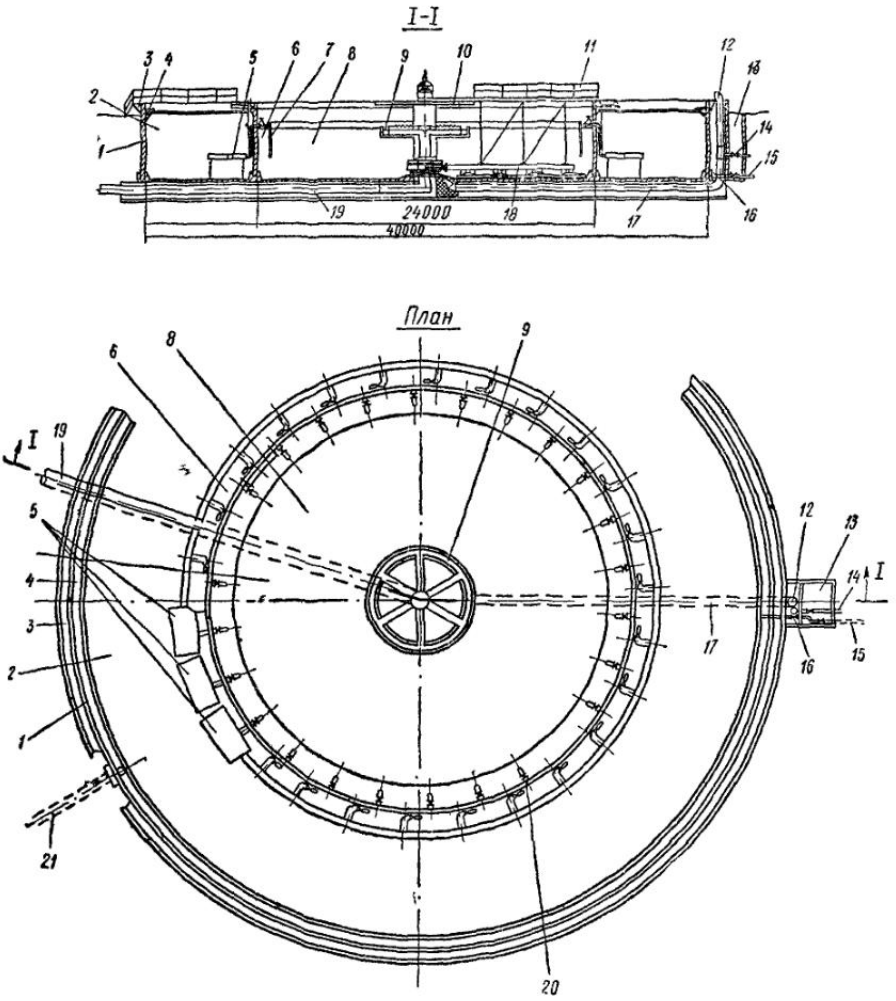


Рис. 5.53. Фильтротенк радиального типа для расхода сточных вод более 10 тыс. м³/сутки

1 — наружная боковая стенка; *2* — зона аэрации; *3* — лоток рециркулирующего активного ила; *4* — лоток поступающей сточной воды; *5* — фильтровальные насадки; *6* — камера дегазации; *7* — струенаправляющая перегородка; *8* — зона отстаивания; *9* — сборный лоток очищенной воды; *10* — ферма илососов; *11* — мостик; *12* — эрлифт; *13* — камера управления; *14* — воздухопровод; *15* — трубопровод избыточного активного ила; *16* — иловая камера; *17* — трубопровод рециркулирующего активного ила; *18* — илососы; *19* — трубопровод очищенных сточных вод; *20* — клапаны отведения иловой смеси; *21* — трубопровод поступающей сточной воды

исходной воде и давление, при котором происходит насыщение иловой смеси воздухом, положительно влияют на плотность пены во флотаторе. При гидравлической нагрузке на флотоилоотделитель 5—8 м³/(м²·ч) и дозе ила в исходной смеси 10 г/л средний вынос взвешенных веществ составлял 100 мг/л. Дальнейшее усовершенствование и изучение флотации растворенным воздухом и замена вторичных отстойников флотаторами позволят повысить скорость разделения иловых смесей, достигнуть высокой степени уплотнения ила и обеспечить повышенные концент-

рации рабочего активного ила в аэрационной зоне сооружений биологической очистки (до 10—15 г/л).

Увеличение пропускной способности окислительных сооружений достигается применением окситенков. В ВОДГЕО разработана конструкция окситенка, позволяющая использовать для аэрации технический кислород на 90—95%. Это дает возможность повысить дозу активного ила в зоне аэрации до 10—15 г/л вместо 3 г/л в аэротенке. При этом скорость биохимического окисления одним граммом активного ила увеличивается.

В МИСИ имени В. В. Куйбышева исследована конструкция нового биохимического окислителя-фильтротенка (рис. 5.53). При исходной величине $БПК_{полн}$ 1500—2000 мг/л, дозе активного ила 12—25 г/л, периоде аэрации 3—5 ч объемная окислительная мощность фильтротенка составляет 10—12 кг $БПК_{полн}/(м^3 \cdot сутки)$. Эффект очистки 90%.

В фильтротенке радиального типа зону аэрации выполняют в виде кольцевого резервуара. В центральной части резервуара устраивают зону отстаивания с периферийным впуском осветляемой иловой смеси и центральным сбором осветленной воды. На наружной боковой стенке имеются кольцевой лоток для впуска и распределения поступающей на биологическую очистку сточной воды и кольцевой лоток для впуска и распределения возвратного активного ила, отводимого из зоны отстаивания.

На внутренней боковой стенке, являющейся общей для зон аэрации и отстаивания, располагают фильтровальные насадки с запорной арматурой и системой отводящих патрубков осветленной иловой смеси и трубопроводов для подачи сжатого воздуха. Последний подается для обратной продувки в целях восстановления рабочих свойств фильтровальных насадок.

Осветление концентрированной иловой смеси, поступающей в зону отстаивания из зоны аэрации, производится при помощи сетчатой фильтровальной перегородки, попеременно работающей в режимах фильтрования и обратной продувки сжатым воздухом. Основные параметры фильтротенка зависят от дозы активного ила, гидродинамических условий в зонах аэрации и отстаивания и технологических свойств активного ила, определяемых биохимической структурой и степенью окисления загрязнений.

Фильтротенк в настоящее время применяется для очистки производственных сточных вод как экспериментальное сооружение.

В отечественной практике и за рубежом (Япония, ФРГ, США) распространение получили биологические сооружения для глубокой очистки производственных сточных вод типа *«Биодиск»*. Принцип работы этих сооружений заключается в том, что на поверхностях медленно вращающихся дисков, обтянутых поролоном или изготовленных из специального материала, которые находятся внутри очищаемого стока, культивируют специфическую микрофлору, обладающую высокой способностью к глубокому изъятию органических и минеральных загрязнений. Биологический процесс происходит в аэробных условиях, и кислород, необходимый для процесса окисления, изымается микроорганизмами из воздуха при выходе диска с влажной биопленкой из сточной воды.

Биологическая пленка ровным слоем покрывает всю рабочую поверхность дисков с двух сторон. Толщина ее при установившемся режиме работы не превышает 4—5 мм, пространство между дисками (1,5—2 см) не зарастает и приток воздуха ко всей поверхности биопленок остается нелимитированным.

По мере накопления адсорбированных и окисленных веществ на поверхностях диска биопленка под тяжестью собственной массы опадает в сточную воду и выносится в отстойник. На месте опавшей биопленки через некоторое время нарастает новая. Зарастание пор материала дисков биопленки не наблюдается.

Материал дисков должен быть легким, прочным, стойким к вредному воздействию сточной воды. Применяются диски толщиной 20 мм из жесткого пенопласта ПС-4-40 и диски толщиной 2,5 мм из экструзионного винипласта или из алюминия.

Принципиальная схема установки биодиска для аэробной очистки производственных сточных вод предприятий пищевой промышленности, разработанная в Одесском инженерно-строительном институте, представлена на рис. 5.54.

Круглые вертикальные диски *3* укреплены на валу на расстоянии 20 мм один от другого и почти наполовину погружены в лоток *2*, по которому протекает сточная вода. Между днищем и дисками лотка имеется пространство не более 20—50 мм во избежание проскока сточной воды вне дисков. Диски медленно вращаются (10—20 м/мин). Электропривод

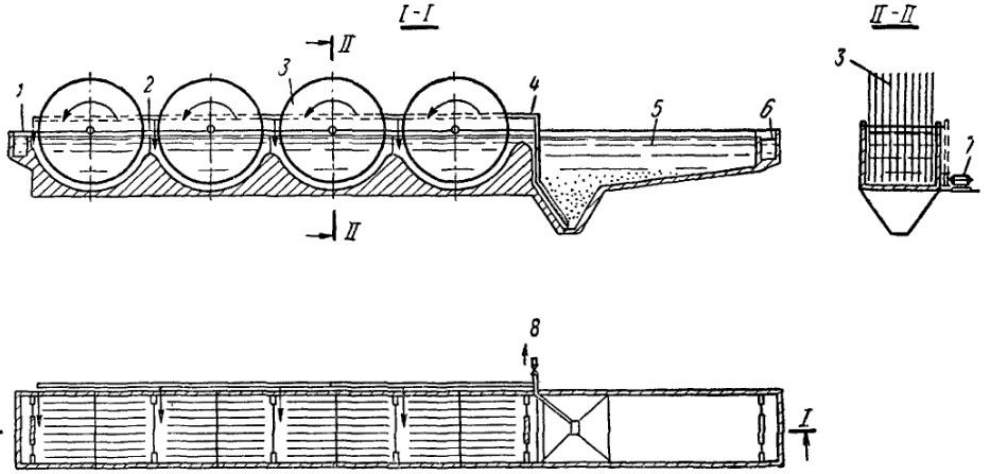


Рис. 5.54. Принципиальная схема установки биодисков в блоке с отстойником

1 — камера впуска сточных вод; *2* — лоток; *3* — биодиски; *4* — илопровод; *5* — отстойник; *6* — камера выпуска очищенной воды; *7* — двигатель-редуктор биодиска; *8* — трубопровод к иловой насосной станции

дом служит двигатель-редуктор *7*. С биодиском сблокирован отстойник *5*. Сооружение имеет камеры впуска сточной воды *1* и выпуска очищенной воды *6*.

Основным расчетным параметром биодиска является нагрузка по $БПК_{полн}$ на 1 м² площади дисков в сутки, зависящая от требуемой степени очистки. Оптимальная нагрузка составляет от 150 до 250 г/(м²·сутки).

Для полной биологической очистки сточных вод дрожжевого производства с применением биодисков целесообразно применять двухступенчатую схему очистки.

Биологическая очистка высококонцентрированных производственных сточных вод в анаэробных условиях с доочисткой аэробным окислением

При высоких концентрациях органических загрязнений в производственных сточных водах ($БПК_{полн}$=6...30 г/л) очистка обычных сооружений биологической очистки при аэробных условиях становится экономически неприемлемой, так как необходимо производить предварительное снижение БПК этих вод путем разбавления до допустимых пределов по $БПК_{полн}$=1 000 мг/л, что вызывает увеличение объемов очистных сооружений и, следовательно, дополнительные затраты на их строительство.

Снижение БПК высококонцентрированных производственных сточных вод целесообразно осуществлять путем анаэробного сбраживания в метантенках таких же типов и конструкций, как для сбраживания осадков сточных вод.

Для того чтобы можно было надежно очищать концентрированные сточные воды, содержащие углеводы в количестве 10 г/л и выше, в ЧССР на основании изучения последовательности микробиальных процессов разработан новый метод метанового брожения в двух и более физиологических ступенях, в которых для бактерий отдельных фаз, в особенности для бактерий метановых, сохраняют оптимальные условия.

Принцип этого метода состоит в том, что метановое брожение происходит в двух или нескольких отдельных резервуарах (в зависимости от состава сточных вод). В первом резервуаре создаются условия, благоприятные для гидролиза высокомолекулярных органических соединений и образования летучих органических кислот, и таким образом существенно сокращается продолжительность образования летучих кислот. Во втором резервуаре со специфическим составом активных форм метановых бактерий происходит обработка сточных вод, в которых уже прошла первая фаза брожения, т. е. образовались летучие кислоты и pH стало равным 7,2. В результате здесь сохраняются оптимальные условия и для второго типа микробиального сообщества и весь процесс благодаря этому значительно ускоряется.

Значения расчетных параметров для различных ступеней очистки высококонцентрированных сточных вод представлены в табл. 5.20.

Таблица 5.20

Расчетные параметры для различных ступеней очистки высококонцентрированных сточных вод

Параметры	I ступень очистки			II ступень очистки			
	метантенки I и II ступени	аэротенки с регенераторами		аэротенки после анаэробного сбраживания			
				I ступень с регенераторами			аэротенки-вытеснители
		аэротенк	регенератор	аэротенк	регенератор	II ступень	
Скорость окисления, мг $БПК_{полн}$ на 1 г ила в час	5—6,5	40—45	—	10—12	—	8	8—12
Доза ила, г/л	20	3	7	3	7	2,5	1,5—2
Зольность ила, доли единицы	0,3	0,1	0,1	0,25	0,25	0,3	0,15
Прирост ила, г/л снятой $БПК_{полн}$	0,05—0,1	0,35—0,45	—	0,5	—	0,2	0,05—0,1
Влажность ила, %:							
после метантенка II ступени	93	—	—	—	—	—	—
после илоуплотнителя	—	97,5	—	97	—	97	97,5
Потребность в биогенных элементах, мг на 100 мг $БПК_{полн}$:							
азота N	2,5	5	—	—	—	—	—
фосфора P	0,5	1	—	—	—	—	—
Оптимальная pH	6,8—7,5	6,5—8,5	—	7—8,5	—	—	—

Этот способ сбраживания сточных вод в двух физиологических ступенях отличается постоянством и в том случае, если концентрация сточных вод колеблется.

Эффективность этого метода очистки по всем показателям достигает 80%, концентрация органических загрязнений снижается в 10—20 раз. Высокая концентрация органических веществ обусловливает образование большого количества газа, который используется для подогревания метантенков до оптимальной для жизнедеятельности мезофильных бактерий температуры 35—37° С. На установках средней производительности полученного таким образом тепла хватает на подогрев метантенков; добавлять тепло приходится только в исключительных случаях (в начале работы установки).

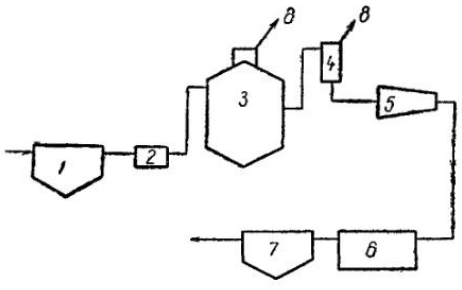


Рис. 5 55. Схема станции анаэробного сбраживания с доочисткой в аэротенках

1 — усреднитель; *2* — теплообменник; *3* — метантенк; *4* — газоотделитель; *5* — отстойник; *6* — аэротенк; *7* — вторичный отстойник с хлорированием; *8* — отвод газа

Анаэробная обработка применима при очистке сточных вод предприятий пищевой промышленности (пивоваренных, дрожжевых, сахарных, винокуренных, консервных заводов и мясокомбинатов), предприятий фармацевтической промышленности, в частности фабрик, изготовляющих пенициллин и оптимицин, а также фабрик первичной обработки шерсти, заводов синтетических жирных кислот, производства капролактама; этим способом можно очищать сильноконцентрированные сточные воды, содержащие синтетические поверхностно-активные вещества.

Сбраживанию, как правило, целесообразно подвергать только наиболее концентрированную часть сточных вод (от отдельных производственных процессов), а не общий сток предприятия.

Большая доля снижения концентрации органического вещества за сравнительно короткое время объясняется как деятельностью микроорганизмов, так и адсорбцией, аналогичной биофлокуляции. Очистка не заканчивается в метантенке и продолжается после него в отстойнике.

Технологическая схема очистки высококонцентрированных производственных сточных вод в анаэробных условиях (рис. 5.55) предусматривает следующие процессы перед поступлением высококонцентрированных сточных вод в метантенки:

1. Механическую обработку (необходимо извлечение наиболее крупных загрязнений на решетках и в песколовках).

2. Выравнивание состава сточных вод в отстойниках или специальных усреднителях; сюда же в пусковой период подается необходимое количество реагента с тем, чтобы величина pH смеси не выходила за пределы 7,5—8; в дальнейшем при нормальном ходе брожения нет необходимости применять реагенты для нейтрализации.

3. Подогревание подаваемой в метантенки смеси до температуры 35° С.

4. Сбраживание в метантенках I и II ступени с рециркуляцией осадка.

При этом должны быть обеспечены:

равномерная в течение суток подача сточных вод в обе ступени метантенков;

поддержание уровня сточных вод в метантенках ниже низа горловины на 0,5 м;

объем метантенков второй ступени, равный 50% объема первой ступени;

возврат активного анаэробного ила из второй ступени метантенков в первую в количестве 30% подаваемых сточных вод;

подача сточных вод и возвратного ила в первую ступень метантенка — в верхнюю часть метантенка, во вторую ступень — в нижнюю часть;

отвод сточных вод из первой ступени метантенков снизу, из второй ступени — сверху;

интенсивность перемешивания в первой ступени метантенков — 6 м³/(м²·ч) (при рециркуляции образующегося газа);

после метантенков второй ступени дегазация сброженных сточных вод в аппаратах с насадкой из колец Рашига или барботажного типа под вакуумом 5—6 кПа, оборудованных серией тарелок для разбрызгивания, или в смесителе с механической мешалкой, рассчитанном на 10-минутное пребывание сточных вод;

отстаивание сточных вод после дегазации в течение 2 ч.

Для передачи сточной воды из одного сооружения в другое следует устраивать железобетонные лотки, доступные для прочистки.

После очистки высококонцентрированных сточных вод в двухступенчатых метантенках можно получить $БПК_{полн}$ сброженной сточной воды: 1000 мг/л — при $БПК_{полн}$ исходной воды 10 000 мг/л и 2000 мг/л при $БПК_{полн}$ исходной воды более 10 000 мг/л. Выход газа при сбраживании на 1 кг снижения $БПК_{полн}$ составляет 0,5—0,6 м³.

Доочистка сточных вод может быть осуществлена путем аэробного окисления в одну ступень на аэротенках-смесителях с регенераторами. Объем регенераторов принимается равным 30% объема аэротенка. Продолжительность отстаивания во вторичных отстойниках — 1,5 часа.

Если доочистка сточных вод после анаэробного сбраживания проектируется в две ступени на аэротенках, то принимаются аэротенки-смесители с регенераторами для I ступени доочистки. Объем регенератора равняется 30% объема аэротенков I ступени. Отстаивание после I ступени должно осуществляться в течение полутора часов.

На II ступени доочистки рекомендуется устанавливать аэротенки-вытеснители. Продолжительность отстаивания после II ступени должна равняться 2 часам.

Необходимый объем метантенков, м³, для сбраживания сточной воды определяется по формуле

$$W = \frac{\left(БПК_{полн}^{пост} - БПК_{полн}^{очищ}\right) Q_{сут}}{A}, \qquad (5.74)$$

где $БПК_{полн}^{пост}$ — полная биохимическая потребность в кислороде поступающей сточной воды, кг/м³;

$БПК_{полн}^{очищ}$ — полная биохимическая потребность в кислороде очищенной воды, кг/м³;

$Q_{сут}$ — расход сточной воды, м³/сутки;

A — объемная мощность анаэробного сбраживания в метантенках по $БПК_{полн}$, кг/(м³·сутки).

Метод анаэробного сбраживания шерстомойных сточных вод применен в СССР на фабрике первичной обработки шерсти в г. Улан-Удэ. Эти воды содержат в составе загрязнений шерстный жир, мыло, различные механические примеси животного и минерального происхождения и растворенные органические и неорганические вещества. Шерстный жир предварительно извлекается из сточных вод флотационно-сепарационным способом в цехе жиродобычи. Этим способом можно выделить из сточных вод до 30% шерстного жира, являющегося ценным продуктом. После извлечения жира шерстомойные сточные воды направляются в первичный отстойник, который служит для выделения осаждающихся взвешенных веществ. Продолжительность отстаивания 2 ч. Одновременно в отстойнике происходит усреднение состава сточных вод. После этого сточная вода подается в I ступень метантенков.

Для создания условий высокой интенсивности сбраживания в метантенке I ступени предусматривается возврат «зрелого» осадка из метантенка II ступени и непрерывное перемешивание содержимого метантенка. Это позволяет отказаться от перемешивания содержимого в метантенках II ступени. В ней происходит дображивание органических веществ и уплотнение зрелого осадка.

На основании результатов исследований и опыта работы очистных сооружений рекомендуются следующие расчетные параметры для проектирования метантенков при очистке шерстомойных сточных вод методом анаэробного сбраживания в мезофильных условиях:

продолжительность сбраживания —7 суток;
нагрузка на 1 м³ объема метантенков по $БПК_{полн}$ —2 кг/сутки;
выход газа на 1 кг снятой $БПК_{полн}$—0,7 м³;
прирост осадка —15 кг/м³ с влажностью 92%;
эффект очистки по $БПК_{полн}$ — 90%;
газ в основном состоит из метана;
$БПК_{полн}$ очищенного стока — 1,5—2 г/л.

После анаэробного сбраживания в двухступенчатых метантенках сточные воды при разбавлении в два раза могут быть доочищены в аэротенках или направлены в городскую канализацию для совместной биологической очистки с бытовыми водами на районных очистных сооружениях.

Эффективность процесса анаэробного сбраживания весьма высока и зависит в первую очередь от характера органических загрязнений сточных вод. Так, например, при очистке сточных вод мясокомбинатов начальная $БПК_{полн}$ сточной воды снижается на 95%, а при сбраживании сточных вод от производства картона, содержащих 4—8 г/л органического углерода, эффект очистки не превышает 70%. Нагрузки по $БПК_{полн}$ колеблются от 0,5 до 3,5 кг/(м³·сутки).

Анаэробная очистка концентрированных производственных сточных вод целесообразна во многих случаях. Очистная установка компактна, занимает мало места.

§ 143. ПРОЦЕССЫ ДООЧИСТКИ БИОЛОГИЧЕСКИ ОЧИЩЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Фильтрование (механический способ доочистки). Наряду с известной общностью процессов доочистки бытовых и производственных сточных вод в этих процессах имеются существенные отличия, обусловленные различным составом фильтруемых суспензий. Сточные воды промышленных предприятий даже после биологической очистки содержат значительное количество загрязнений, характерных для различных производств, например эфирорастворимые вещества, масла, смолистые вещества, целлюлозу, лигнин и т. д. Эти вещества способны оказывать влияние на механизм процесса фильтрования через зернистую загрузку и изменять структуру отложений в большей степени, чем загрязнения бытовых сточных вод.

Свойства различных производственных сточных вод в результате биологической очистки не становятся одинаковыми, и они влияют на выбор конструктивных и технологических параметров фильтров: типа и крупности зерен загрузки, высоты ее слоя, направления потока жидкости, условий регенерации загрузки, средств обработки промывной воды и т. п. Уточненные параметры могут быть получены в результате экспериментальных исследований на реальных сточных водах различных промышленных предприятий.

При проектировании скорых фильтров для очистки производственных сточных вод рекомендуется предусматривать перед фильтрами уста-

новку барабанных сеток с ячейками размером 0,5—1 мм и расчетной скоростью процеживания 40—50 м³/(м²·ч).

Для доочистки биологически очищенных сточных вод применяются фильтры с направлением потока сверху вниз и снизу вверх. Анализ опубликованных результатов по доочистке и изучению конструкций скорых фильтров показывает, что наряду с фильтрами с направлением потока снизу вверх весьма перспективными конструкциями являются фильтры с многослойной и крупнозернистой загрузками.

При направлении потока сверху вниз следует применять двухслойные фильтры. Для кварцевых фильтров с подачей воды сверху и снизу рекомендуемая скорость фильтрования 5—7 м³/(м²·ч), для двухслойных — 8—10 м³/(м²·ч) и в отдельных случаях — до 15 м/ч. Увеличение скорости фильтрования свыше 15 м³/(м²·ч) приводит к резкому ухудшению качества профильтрованной воды. Фильтрование биологически очищенных производственных сточных вод через зернистые фильтры позволяет получить снижение $БПК_{полн}$ на 70—80%, ХПК на 30—40%, концентрации эфирорастворимых веществ на 40%, концентрации взвешенных веществ на 70—90%.

Промывку фильтров можно осуществлять профильтрованной или любой другой водой при концентрации взвешенных веществ в последней не более 20 мг/л.

Интенсивность промывки для кварцевых фильтров с подачей воды снизу и сверху ($d_{экв}$=1,43 мм) составляет 16—18 л/(м²·с), для двухслойных — 14—16 л/(м²·с); продолжительность промывки фильтров 6—8 мин, двухслойных — 8—10 мин; расход промывной воды 3—4% общего количества профильтрованной воды.

Для скорых фильтров с фильтрованием снизу следует предусматривать водовоздушную промывку со следующим режимом: продувка воздухом в течение 1—2 мин с интенсивностью 18—20 л/(м²·с); водовоздушная промывка в течение 8—10 мин с интенсивностью подачи воды 3—4 л/(м²·с) или промывка в течение 4—5 мин с интенсивностью подачи воды 6—7 л/(м²·с). При подаче воды сверху предусматриваются устройства для гидравлического или механического взрыхления верхнего слоя загрузки.

Межрегенерационный период работы принимают: для кварцевых фильтров с подачей воды сверху при исходной концентрации взвеси 15—20 мг/л 12 ч и при 20—40 мг/л 8 ч, для фильтров с подачей воды снизу и двухслойных при исходной концентрации 15—20 мг/л 24 ч и при 20—30 мг/л 16 ч.

Для промывки фильтров однослойных и двухслойных при подаче воды снизу необходимо предусматривать устройство воздухоотделителей и вместимость резервуаров промывной воды и грязных вод от промывки фильтров не менее чем на две промывки; при фильтровании снизу — предусматривать мероприятия по стабилизации скорости фильтрования, при этом колебания скорости допускать не более чем на ±15%, и по насыщению воды кислородом воздуха.

Грязные промывные воды следует отстаивать в течение 2 ч, отстоенную воду направлять в аэротенки, осадок — в сооружения для обработки осадка.

Периодически, один раз в 2—3 мес., необходимо промывать фильтры хлорной водой с концентрацией хлора 0,2—0,3 г/л. Продолжительность контакта хлорной воды с загрузкой должна составлять 20—24 ч.

Биологические пруды. Для доочистки производственных сточных вод после сооружений биологической очистки применяются биологические пруды (биологический способ доочистки). В биологических прудах достигаются дальнейшее уменьшение содержания взвешенных веществ и биогенных элементов, полное насыщение кислородом выходящего стока и снижение его токсичности.

В биологических прудах, в отличие от природных водоемов, процессами самоочищения можно управлять. Их предусматривают на необходимую продолжительность пребывания воды, с естественной или искусственной аэрацией. Масса микроорганизмов в единице объема прудовой воды обычно выше, чем в воде открытого водоема, вследствие чего скорость процесса биологической доочистки в пруде может быть большей, чем в водоемах. При наличии отработанной теплой воды можно в известной степени управлять и температурой воды в биологических прудах. Сочетание биологических прудов с сооружениями биологической очистки позволяет обеспечить высокое качество очистки сточной жидкости независимо от сезона года, даже зимой.

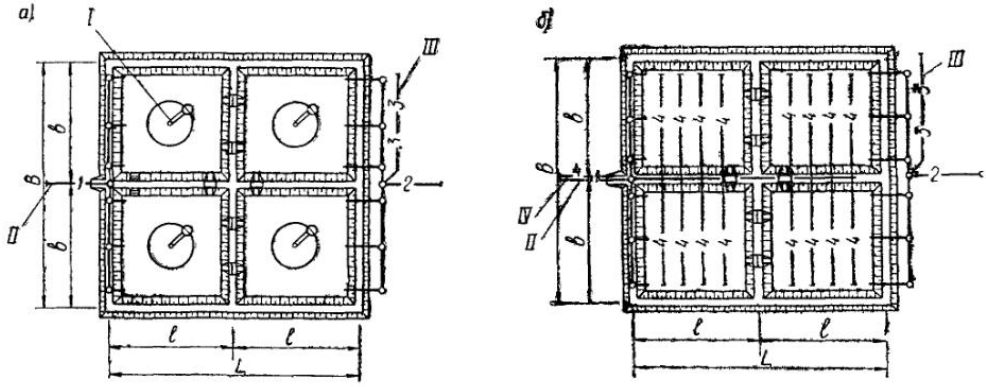


Рис. 5 56. Биологические пруды доочистки сточных вод

а — с механическими аэраторами; *б* — с пневматической аэрацией; *I* — аэратор планерный; трубопроводы; *II* — от вторичных отстойников; *III* — от хлораторной; *IV* — от насосно-воздуходувной станции; *1* — сточная вода на доочистку; *2* — очищенная вода; *3* — хлорная вода; *4* — воздух

Опыт использования биологических прудов показывает, что при продолжительности пребывания в них воды 7—8 суток в зимний сезон температура воды снижается с 20—22° С (на входе в пруд) до 4—7° С (на выходе из пруда).

В теплый период года возможно цветение воды, при котором $БПК_{полн}$ выходящей из пруда воды трудно снизить ниже 5—6 мг/л, а содержание взвешенных веществ — ниже 15—30 мг/л.

Биологические пруды доочистки рекомендуется проектировать прямоугольной формы, секционные, по четыре секции, что дает возможность их периодически очищать. Располагать пруды необходимо таким образом, чтобы направление движения воды было перпендикулярно господствующему направлению ветра. Объем пруда, м³, можно рассчитать по формуле

$$W = Qt, \tag{5.75}$$

где Q — количество стоков, поступающих в пруд, м³/сутки;

t — продолжительность пребывания воды в пруду, сутки.

Для биологических прудов продолжительность пребывания в них сточных вод, сутки, следует определять по формуле

$$t = \frac{C_п - C_о}{R}, \tag{5.76}$$

где $C_п$ — концентрация загрязнений в поступающей на доочистку сточной воде, кг/м³;

$C_о$ — концентрация загрязнений в очищенной сточной воде, кг/м³;

R — средняя объемная скорость изъятия загрязнений, кг/(м³×сутки).

В практике очистки и особенно доочистки сточных вод широкое распространение получают аэрируемые пруды (рис. 5.56) благодаря их технологическим и экономическим преимуществам, к числу которых в первую очередь следует отнести возможность работать без образования избыточного активного ила и простоту эксплуатации этих сооружений. Основные размеры прудов приведены в табл. 5.21.

Таблица 5.21

Основные размеры прудов с искусственной аэрацией и параметры аэраторов

Пропускная способность, тыс. м³/сутки	L	l	B	b	Механические аэраторы		Общая длина дырчатых пневматических аэраторов, м
					длина рычага, м	количество, шт.	
25	420	60	120	60	12	4	1 800
50	240	60	120	60	12	8	2 840
100	300	100	200	120	28	6	8 000
200	500	100	200	120	28	10	12 900

Эффективная доочистка сточных вод в аэрируемых прудах в различных климатических условиях достигается путем применения аэрационного оборудования, которое может обеспечить необходимую скорость массопередачи по кислороду, большую зону обслуживания при глубине пруда не менее 3 м и возможность нормальной работы в период ледостава без переохлаждения доочищаемых промышленных стоков.

Применение в биологических прудах конструкции аэратора Ленниихиммаша, разработанной совместно с ВНИИБП, показывает, что интенсивная аэрация и поглощение кислорода жидкостью из атмосферного воздуха могут быть достигнуты с помощью всасывающего устройства заглубленного типа, состоящего из статора и ротора. В связи с тем что турбина всасывающего устройства отделена от основного объема жидкости неподвижным лопастным статором, зона перемешивания относительно невелика. Для обеспечения турбулентного переноса кислорода в прудах глубиной 3—4 м и поддержания частиц активного ила во взвешенном состоянии на значительном удалении от аэратора (до 30—40 м) его необходимо оборудовать дополнительным перемешивающим приспособлением, в качестве которого используется турбина открытого типа.

Основными показателями эффективности работы аэрационного оборудования при доочистке производственных сточных вод в прудах служат их окислительная способность ОС, представляющая собой количество кислорода, отнесенного к 1 м³ объема сооружения в единицу времени, и производительность аэратора по кислороду Q, кг/м³, равная:

$$Q = \text{ОС} \cdot W, \tag{5.77}$$

где W — объем аэрируемой жидкости, м³.

Установлено, что для каждого типоразмера аэратора и определенной глубины его погружения имеется критическая частота вращения $N_{кр}$, с$^{-1}$, при которой начинается процесс аэрации (поступление воздуха в жидкость):

$$N_{кр} = \frac{2gH}{k\pi^2 D^2}, \tag{5.78}$$

где H — глубина погружения ротора в жидкость, м;

k — константа, характеризующая тип ротора;

D — диаметр турбины аэратора, м.

При числе оборотов меньше $N_{кр}$ подсос воздуха прекращается и аэратор начинает работать как перемешивающее устройство.

В результате математической обработки имеющихся экспериментальных данных получено уравнение, связывающее производительность аэратора по кислороду, кг/ч (для стандартных условий — чистая обескислороженная вода с температурой 20° С), с его конструктивными характеристиками и параметрами работы:

$$Q = 2{,}8H^{0,2}N^{2,3}D^5, \qquad (5.79)$$

где N — частота вращения ротора, $с^{-1}$.

При выпуске сточных вод в проточные водоемы, обеспечивающие начальную кратность разбавления не более чем в 5—10 раз, следует применять комбинированную биологическую очистку сточных вод, включающую очистку в аэротенках и глубокую очистку стоков в аэрируемых прудах, работающих на рециркулируемом активном иле.

Основные показатели эффективности работы комбинированных сооружений биологической очистки приведены в табл. 5.22.

Таблица 522

Показатели качества очищенных сточных вод биохимическим методом

Способы очистки	Снижение содержания основных загрязнений до концентраций, мг/л			
	по взвешенным веществам	по $БПК_{полн}$	по нефтепродуктам	по фенолам
Одноступенчатая биологическая очистка в аэротенках	12—15	15—20	7—10	0,2
Одноступенчатая биологическая очистка в аэротенках с последующей доочисткой в биологических прудах . .	7—10	7—10	3—5	0,05
Двухступенчатая биологическая очистка в аэротенках	10—12	10—15	5—7	0,1
Двухступенчатая биологическая очистка в аэротенках с последующей доочисткой на песчаных фильтрах и в биологических прудах	5	3—5	1—3	0,05

Примечание Содержание растворенного кислорода в очищенной воде может быть доведено до 4—6 мг/л и более в зависимости от требований к очистке по этому показателю.

§ 144. ОЧИСТКА И ЛИКВИДАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ ОСОБО ВРЕДНЫЕ ПРИМЕСИ, ОБРАБОТКА ОСАДКА

Очистка сточных вод, содержащих радиоактивные примеси

Развитие ядерной энергетики и расширение области применения радиоактивных изотопов в различных отраслях промышленности, науки, техники, медицины требуют решения вопроса обезвреживания радиоактивных отходов.

Наиболее опасными для человека и животных являются изотопы: стронций-90, цезий-137, иод-131. Попадая в организм, они вызывают тяжелые заболевания.

Активность радиоактивных отходов уменьшается только в результате естественного распада, что в случае изотопов, обладающих длительным периодом полураспада, связано с необходимостью осуществления контроля над радиоактивными отходами иногда в течение нескольких сотен лет.

Радиоактивные сточные воды отличаются большим разнообразием содержащихся в них радиоактивных элементов. Каждый из этих элементов характеризуется двумя основными величинами: энергией радиоактивного излучения α-, β- и γ- лучей и периодом полураспада, т. е. промежутком времени, в течение которого распадается половина начального количества атомов.

Источником загрязнения воды наиболее часто являются продукты деления урана U^{235}, состоящие из короткоживущих и долгоживущих радиоактивных изотопов.

Высокоактивные сточные воды с содержанием радиоактивных изотопов более 1 мкюри/л образуются в первой стадии процесса переработки используемого ядерного топлива, при котором ставится цель изъять топливные и расщепляемые материалы, и при ряде других процессов. Количество таких сточных вод невелико — 2—20 л на 1 г получаемого урана U^{235}. Кроме продуктов расщепления высокоактивные сточные воды содержат большое количество нерадиоактивных солей — свыше 10 г/л, азотную кислоту, органические растворители и др.

Количество радиоактивных сточных вод низкой активности (до 1 мкюри/л) значительно больше. Они образуются при переработке руды, стирке одежды, удалении радиоактивных загрязнений из помещений, эксплуатации реакторов, лабораторных исследованиях, использовании радиоактивных изотопов в лечебных целях.

Специфические свойства радиоактивных отходов требуют применения специальных методов переработки, которые сводятся к концентрированию отходов и рассеиванию в окружающей среде при соблюдении предельно допустимого содержания в ней радиоактивных изотопов (табл. 5.23).

Таблица 5.23

Предельно допустимые концентрации некоторых изотопов в воде открытых водоемов

Изотоп	Предельно допустимые концентрации, кюри/л	Изотоп	Предельно допустимые концентрации, кюри/л
Na^{21}	$8 \cdot 10^{-9}$	Ag^{105}, Nb^{95}	$3 \cdot 10^{-8}$
P^{32}	$5 \cdot 10^{-9}$	Ce^{144}, Ca^{45}, Sr^{89}, Ru^{106}	$3 \cdot 10^{-9}$
Ba^{140}, Cl^{36}	$7 \cdot 10^{-9}$	J^{131}	$6 \cdot 10^{-10}$
K^{42}	$6 \cdot 10^{-9}$	Cs^{137}	$1 \cdot 10^{-9}$
Cr^{51}	$5 \cdot 10^{-7}$	Hg^{197}	$9 \cdot 10^{-8}$
Mn^{52}	$9 \cdot 10^{-9}$	Pb^{210}	$1 \cdot 10^{-11}$
Au^{198}, Pr^{143}, Cd^{115}, Fe^{59}	$1 \cdot 10^{-8}$	Po^{210}	$2 \cdot 10^{-11}$
Co^{60}, Mo^{99}, Pm^{147}, Cu^{64}	$6 \cdot 10^{-8}$	Ra^{223}	$2 \cdot 10^{-10}$
U^{235}, Sr^{90}	$3 \cdot 10^{-11}$	Pu^{239}	$5 \cdot 10^{-11}$
Nd^{147}, Sr^{95}	$2 \cdot 10^{-8}$	U^{238}	0,05 (мг/л)

Концентрированию подвергаются сточные воды высокой активности и с большим периодом полураспада радиоактивных загрязнений. После концентрирования радиоактивные отходы хранят в специальных резервуарах или переводятся в твердое состояние связывающими ма-

териалами. Применяется также сплавление отходов с керамическими материалами, стеклом, после чего полученные блоки закапывают глубоко в землю.

Обезвреживание сточных вод, содержащих радиоактивные изотопы с небольшим периодом полураспада (до 60 дней), производится в резервуарах с целью снижения радиоактивности до допустимых норм. Для отвода тепла, выделяющегося в результате естественного распада радиоактивных веществ, необходимо предусматривать водяное охлаждение резервуаров. В целях защиты от радиации над резервуарами насыпается слой земли толщиной до 3 м.

Все сточные воды, содержащие радиоактивные вещества, перед сбросом в почву или водоем подвергаются очистке.

Способы очистки радиоактивных сточных вод подразделяются на физико-химические (осаждение, коагулирование, сорбция, ионообмен, экстрагирование, выпаривание, дистилляция), электролитические (электролиз, электродиализ, электроионизация), биологические.

При очистке стоков от радиоактивных изотопов способом осаждения в очищаемую воду добавляется в достаточном количестве неактивный изотоп того же элемента или другой элемент, являющийся изоаморфным с радиоактивными микрокомпонентами. Так удаляют, например, радиоактивный иод J^{131}.

Способ коагулирования с последующим осаждением применяют при наличии в воде радиоактивных коллоидов. В случае необходимости производят, кроме того, фильтрование воды. Так, например, при помощи сульфата алюминия удаляют до 96—99,6% радиоактивного фосфора P^{32}, присутствующего в воде в виде PO_4^{3-}. Еще лучшие результаты получаются при применении в качестве коагулянта хлорида железа.

Способ сорбции радиоактивных ионов на взвешенных в воде веществах или на активированном угле с последующим их осаждением является высокоэффективным: достигается удаление церия Ce^{144} и плутония Pu^{239} до 99%.

Способ реагентного умягчения воды с применением извести и соды, широко известный в практике водоснабжения, используется для извлечения из воды до 74—84% радиоизотопов Sr^{89} и Sr^{90}, образующихся при делении урана. Более полное извлечение стронция может быть достигнуто способом ионного обмена.

Способ ионного обмена является эффективным методом очистки слабоактивных сточных вод, предварительно освобожденных от растворенных органических веществ на биофильтрах.

Электролитические способы находят применение для удаления из раствора некоторых продуктов деления урана в ионной форме.

Способы биологической очистки используются для обработки бытовых сточных вод, содержащих небольшие количества радиоактивных веществ. Этот способ основан на способности радиоизотопов сорбироваться на взвешенных веществах и избирательно биологически ассимилироваться биоценозами, населяющими аэротенки, биофильтры, биопруды.

Более полное извлечение радиоактивных веществ достигается на очистных станциях, работающих по схеме двухступенчатой биологической очистки. Станции очистки этих сточных вод должны быть полностью автоматизированы и герметизированы.

Степень очистки различных радиоизотопов неодинакова (табл. 5.24).

Выбор способа зависит от физико-химического и радиоактивного состава сточных вод, местных условий, стоимости способа и требуемой степени очистки.

Таблица 5.24

Эффективность биологической очистки сточной воды от различных радиоизотопов

Радиоизотопы	Степень очистки, %	
	в биофильтрах	в аэротенках
Иод 131	3—92	1—98
Фосфор-32	20—71	20—30
Стронций-90	11—99	11—99
Плутоний-239	75—95	75—95
Смесь продуктов деления урана	70—85	70—80
Хром	69	—
Рубидий	32—79	—
Цирконий	79	—
Иттрий	87	—
Церий	95—99	—

Кроме отдельных способов для глубокого обезвреживания сточных вод могут быть применены различные их сочетания.

Очистка сточных вод от ртути

Существует несколько способов очистки сточных вод от ртути: осаждение ртути в виде нерастворимого сульфида ртути, поглощение ионов ртути катионитами, сорбция ионов ртути ионообменным волокном мтилон-т и др.

При осаждении ионов ртути в виде сульфида происходит следующая реакция: $Hg^{2+}+S^{2-}\rightarrow HgS\downarrow$.

Произведение растворимости HgS в дистиллированной воде составляет $1{,}6\times10^{-52}$, что соответствует остаточной концентрации ионов ртути в растворе, равной $2{,}5\times10^{-21}$ мг/л. В производственных сточных водах произведение растворимости HgS несколько больше, основная же часть сульфида ртути находится в воде в виде тонкодисперсных коллоидных частичек, выделить которые в осадок можно коагулированием сточных вод водным сульфатом алюминия $Al_2(SO_4)_3\cdot18H_2O$, водным сульфатом железа $FeSO_4\cdot7H_2O$, известью CaO, смесью этих коагулянтов и т. д.

При очистке сточных вод, содержащих 1,5—20 мг/л катионов ртути, для полноты осаждения сульфида ртути требуется 10—40% избытка сульфид-ионов сверх стехиометрического количества. Для дальнейшего коагулирования образовавшегося осадка необходимо добавить 50—60 мг/л сульфата алюминия при pH=6,9...7,3 или 40—60 мг/л сульфата железа при pH=8,5...8,8.

Более полной очистки сточных вод от ртути можно достигнуть при фильтровании их через сильноосновной катионит в H- или Na-форме. В результате реакции обмена

$$2RSO_3H[Na]+Hg^{2+}\rightarrow(RSO_3)_2Hg+2H^+[Na^+]$$

растворенная ртуть полностью переходит из раствора на поверхность катионита и выходящая из ионообменных фильтров вода практически не содержит ионов ртути.

Емкость катионитов отечественных марок (КУ-2, КУ-2-20, сульфоуголь и др.) при извлечении ртути из дистиллированной воды составляет 10—12% по отношению к массе смолы. При этом следует иметь в виду, что при извлечении ртути ионообменной смолой из производственных сточных вод сорбционная емкость катионита по отношению к ионам ртути будет несколько ниже, так как смола одновременно будет извлекать из сточных вод все другие катионы, находящиеся в растворе.

Предельно допустимая концентрация ртути в водоемах составляет 0,005 мг/л, поэтому сточные воды следует тщательно очищать от ртути.

Сорбция ртути ионообменным волокном мтилон-т (до 0,4 г металла на 1 г волокна) происходит достаточно быстро — время контакта не превышает 1 мин при низких концентрациях ртути в растворе.

На рис. 5.57 приведена технологическая схема установки по очистке промышленных стоков от ртути

Промышленные стоки при помощи вакуума закачиваются в три отстойные колонны из оргстекла для отделения взвешенных веществ. После отстаивания осветленная часть раствора фильтруется на нутч-фильтре и перекачивается вакуум-сборником в напорный мерник *4*.

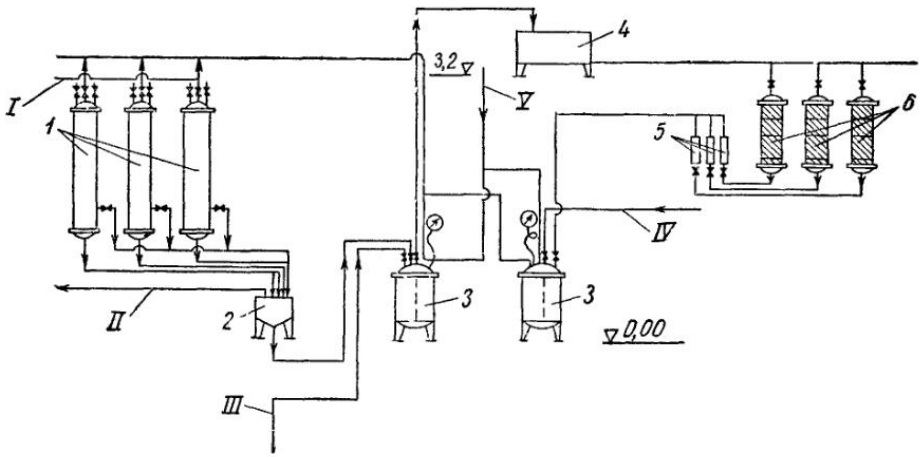


Рис. 5.57. Схема установки очистки сточных вод от ртути

1 — отстойные колонны; *2* — нутч фильтр; *3* — вакуум-сборники, *4* — напорный мерник; *5* — ротаметры; *6* — ионитовые фильтры, трубопроводы. *I* — технологических промышленных сточных вод на очистку; *II* — осадков для использования в производстве, *III* — промывных сточных вод и от сливов рабочих площадок; *IV* — очищенных сточных вод в цех нейтрализации; *V* — сжатого воздуха

Промышленные стоки сливов рабочих площадок из вакуум-сборника также перекачиваются в напорный мерник.

Затем промышленные стоки поступают на параллельно соединенные оргстеклянные колонны высотой 1 м и диаметром 300 мм, заполненные ионитом мтилон-т. Загрузка ионитом каждой колонны составляет 12 кг.

Колонны при помощи перфорированных перегородок из оргстекла разделены на три секции, что предотвращает чрезмерное уплотнение ионита и создает возможность замены его в тех секциях, где он уже насыщен ртутью.

Скорость пропускания промышленных стоков через колонны контролируется ротаметрами марки РС-5.

Очищенные от ртути промышленные стоки собираются в эмалированный вакуум-сборник и по мере наполнения перекачиваются при помощи сжатого воздуха в цех нейтрализации.

Контроль уровня промышленных стоков в емкостях осуществляется автоматическими сигнализаторами уровня.

Кроме ионной ртути волокно механически задерживает мелкодисперсную металлическую ртуть и взвеси солей редкоземельных металлов.

Очистка сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ)

Широкое распространение поверхностно-активные вещества находят в промышленности и в быту в качестве моющих средств.

Синтетические ПАВ (детергенты) содержат 15—30% поверхностно-активных веществ, большое количество полифосфатов, отбеливающих и пахучих веществ.

Детергенты, попадая со сточными водами в водоемы, вызывают вспенивание, ухудшают органолептические свойства воды, нарушают процессы обмена кислорода, токсически действуют на фауну.

Поверхностно-активные вещества, попадая на очистные сооружения, оказывают тормозящее влияние на процессы очистки. Эффект осаждения сточных вод, загрязненных ПАВ, уменьшается на 7—10%, наблюдается нарушение работы биофильтров при концентрации ПАВ свыше 15 мг/л, а содержание ПАВ более 5—10 мг/л оказывается токсичным для активного ила аэротенков. При сбраживании осадков, содержащих ПАВ, в метантенках уменьшается выход метана, что объясняется понижением степени распада органических веществ.

Очистка сточных вод, загрязненных ПАВ, может производиться физико-химическими и биохимическими методами.

Весьма эффективен метод коагуляции с применением в качестве коагулянта солей цинка. При использовании обычных коагулянтов содержание поверхностно-активных веществ уменьшается только на 20—30%.

По зарубежным данным, совместное применение химической коагуляции и сорбции на активированном угле обеспечивает почти полное изъятие ПАВ из сточных вод.

Применение физико-химических методов является целесообразным прежде всего при предварительной очистке сточных вод отдельных предприятий, когда концентрация ПАВ в сточных водах значительна (сточные воды текстильных фабрик, фабрик переработки шерсти, заводов синтетического каучука).

Очистка сточных вод, содержащих ПАВ в небольших количествах, производится методами биохимического разложения. В связи с этим расширяется производство синтетических ПАВ, легко поддающихся биохимическому окислению, например эфиров сахарозы, алкилбензолсульфонатов, сульфированных жирных кислот и др.

При биологической очистке сточных вод, загрязненных ПАВ, определяющим условием является их способность к биохимическому распаду. Учитывается также влияние высокой поверхностной активности ПАВ на процесс растворения кислорода, так как недостаточная обеспеченность процесса кислородом сказывается на развитии активного ила даже при поступлении на станции аэрации только «биологически мягких» ПАВ.

Исходя из современных представлений о биологической очистке сточных вод можно обеспечить получение стабильных результатов удаления ПАВ в системах, работающих со средними и низкими нагрузками. Рекомендуется применение механической аэрации и представляются наиболее эффективными аэротенки с децентрализованным впуском сточной воды, так как в них обеспечивается частичное выравнивание скоростей потребления кислорода. При эксплуатации аэротенков стремятся поддерживать более высокую рабочую дозу активного ила, что способствует снижению концентрации сорбированных на активном иле ПАВ, а это, в свою очередь, улучшает процессы обмена бактериальной клетки с внешней средой и позволяет микроорганизмам полнее использовать ПАВ в качестве источника углеродистого питания. Недостаточная стабилизация активного ила в высоконагружаемых процессах частично может быть восстановлена введением регенерации с переменным объемом.

В ряде случаев требуется дополнительная очистка сточных вод, уже прошедших биологическую очистку.

Для очистных станций средней и большой производительности пер-

спективным является перевод ПАВ в пену путем аэрации биологически очищенных сточных вод.

Пена после ее концентрирования может быть возвращена в сооружения биологической очистки (рис. 5.58).

Резервуар для вспенивания по конструкции аналогичен аэротенку. Высота резервуара 2—3 м, пеногашение осуществляется вентилятором. Для защиты образующейся пены от ветра и атмосферных осадков резервуар размещают в здании или под шатром.

Исследованиями, проведенными в АКХ имени К. Д. Памфилова, было установлено, что снижение концентрации сульфонола НП-3 с 4—6 до 0,5—0,7 мг/л, т. е. в среднем на 85%, и хлорного сульфонола с 5—

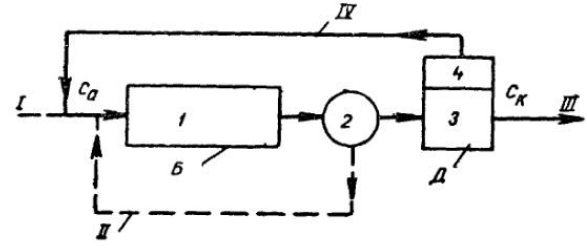


Рис. 5.58. Схема доочистки сточных вод от ПАВ методом фракционирования их в пену

I — аэротенк; *2* — вторичный отстойник; *3* — резервуар для вспенивания сточных вод; *4* — сборник пены; трубопроводы: *I* — сточной воды от первичных отстойников; *II* — циркулирующего активного ила; *III* — очищенной сточной воды в водоем; *IV* — конденсата пены

5,5 до 1,5—2 мг/л, т. е. на 60—65%, может быть достигнуто при интенсивности аэрации сточной воды в среднем 18—22 м³/(м²·ч) в течение 30—60 мин.

Если принять процент удаления ПАВ в аэротенках за *Б*, а в процессе доочистки биохимически очищенных сточных вод за *Д*, концентрация ПАВ в поступающей из первичных отстойников жидкости $C_ж$ после непрерывного возвращения концентрата пены будет увеличиваться на величину ΔC:

$$\Delta C = (C_ж + \Delta C)\left(1 - \frac{Б}{100}\right)\frac{Д}{100}. \qquad (5.80)$$

Решая это уравнение баланса относительно ΔC, получим

$$\Delta C = \frac{C_ж\left(1 - \frac{Б}{100}\right)\frac{Д}{100}}{1 - \left(1 - \frac{Б}{100}\right)\frac{Д}{100}}. \qquad (5.81)$$

Следовательно, в непрерывном процессе при частичном распаде ПАВ, содержащихся в концентрате пены, их содержание в жидкости, поступающей в сооружения биологической очистки, будет:

$$C_а = \frac{C_ж}{1 - \frac{Д}{100}\left(1 - \frac{Б}{100}\right)}. \qquad (5.82)$$

а конечная концентрация ПАВ, мг/л, в очищенных сточных водах, сбрасываемых в водоем,

$$C_к = \frac{C_ж}{1 - \frac{Д}{100}\left(1 - \frac{Б}{100}\right)}\left(1 - \frac{Б}{100}\right)\left(1 - \frac{Д}{100}\right). \qquad (5.83)$$

При очистке в аэротенках с последующей доочисткой сточных вод, содержащих 20 мг/л «биологически мягких» ПАВ, для которых можно принять $Б = 80\%$ и $Д = 85\%$, концентрация этих веществ в аэротенке $C_а$ вследствие непрерывного возврата концентрата пены повысится с 20 до 24 мг/л; очищенные воды будут содержать порядка 0,7 мг/л ПАВ.

В случае поступления со сточными водами ПАВ «промежуточной» группы, для которых можно принять $Б=60\%$ и $Д=65\%$, концентрация этих веществ в аэротенке возрастает с 20 до 27 мг/л, а содержание ПАВ в очищенных водах будет снижено до 3,8 мг/л. Применить возврат в сооружении биологической очистки концентрата пены, содержащего «биологически жесткие» ПАВ, нельзя, так как эти соединения практически не окисляются, а увеличение концентрации более 10 мг/л оказывает отрицательное влияние на процессы биологической очистки сточных вод.

Очистка сточных вод от производства капролактама

Количество загрязненных сточных вод от производства капролактама составляет на одном из действующих комбинатов в среднем 70—80 м³/ч. Высококонцентрированные сточные воды в количестве 14—17 м³/ч от цехов окисления и капролактама выпариваются и сжи-

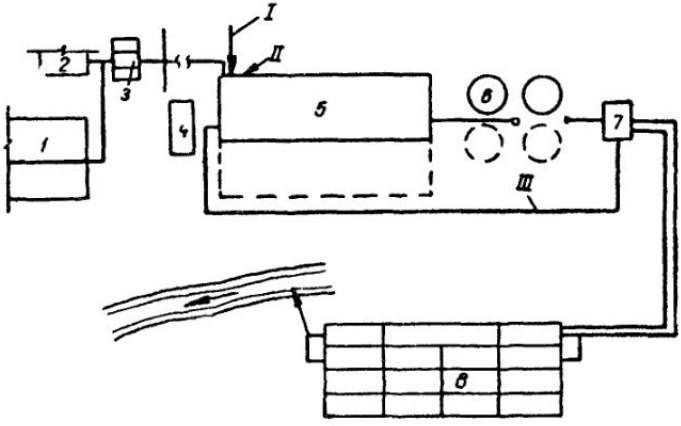


Рис. 5 59. Принципиальная схема биологической очистки сточных вод производства капролактама

1 — аварийные емкости; *2* — установка фирмы «Бальфур» и станция нейтрализации, *3* — регулирующие резервуары-усреднители; *4* — воздуходувки, *5* — аэротенки-смесители; *6* — вторичные радиальные отстойники, *7* — насосная станция; *8* — пруды-каскады, трубопроводы: *I* — условно чистой воды для разбавления; *II* — биогенных веществ; *III* — возвратного активного ила

гаются на установке голландской фирмы «Бальфур». Все остальные, загрязненные органическими веществами производственные сточные воды, включая конденсат в количестве 10 м³/ч от выпарной установки «Бальфур», собираются в емкость, нейтрализуются и поступают в три резервуара объемом до 1500 м³ каждый. Резервуары выполняют роль усреднителей сточных вод. В этих резервуарах выделяются смолы и всплывающие вещества. За качеством поступающих в резервуары сточных вод по ХПК установлен контроль. В состав очистных сооружений входят также две резервные земляные емкости по 45 000 м³ каждая для приема сточных вод при нарушениях работы биологических сооружений.

Внеплощадочные сооружения для биологической очистки сточных вод, прошедших усреднители, включают аэротенки-смесители, установку для биогенной подпитки стоков фосфором, воздуходувную станцию, вторичные радиальные отстойники, биологические пруды-каскады для доочистки стоков, выпуск в реку (рис. 5.59). Для разбавления производственных сточных вод используются условно-чистые воды комбината в количестве 300—500 м³/ч.

Средние показатели работы сооружений биологической очистки приведены в табл. 5.25. Максимальные концентрации загрязнений в общем разбавленном стоке перед аэротенками-смесителями достигали: по азоту аммонийных солей до 408 мг/л, $БПК_5$ до 490, анону 140, анолу 240, дактаму 152, ХПК 1850 и по адипатам натрия до 2186 мг/л.

В производственных неразбавленных сточных водах ХПК достигало 48 000 мг/л.

Таблица 5.25

Средние показатели работы сооружений биологической очистки

Загрязнения	Содержание загрязнений, мг/л		
	перед аэротенками-смесителями после разбавления	после вторичных отстойников	после прудов-каскадов (на выпуске в водоем)
ХПК	553—724	94—129	—
$БПК_{20}$	400—500	5—33	4—5,2
$БПК_5$	300—385	3,5—25	3—4
Азот аммонийных солей	78—90	1,7—25,3	
Анол	14—15	Отсутствует	Отсутствует
Анон	6,9—19	»	»
Оксим	14,6	»	»
Лактам	27—44,2	0,5—3,5	0—0,7
Адипаты натрия	580—1460	По БПК	По БПК
Бензол	10—50	Отсутствует	Отсутствует
Растворенный кислород	—	4	—
pH	8,8—9,2	6—7,5	—

Наладка и пуск очистных сооружений производились на бытовых сточных водах города. Затем на очистные сооружения начали поступать сточные воды от производства капролактама. Активный ил наращивался постепенно, сооружения нагружались по мере повышения работоспособности активного ила. Минимальная температура бытовых сточных вод в период наладки не понижалась менее 13° С. В производственных сточных водах температура колебалась в пределах 20—25° С. Для адаптации активного ила и наладки всех сооружений потребовался один месяц.

Общий объем установленных аэротенков 25 000 м³ (две секции по 12 500 м³ каждая). Продолжительность аэрации 24 ч. Концентрация активного ила 3—3,5 г/л (по беззольному веществу). Расход воздуха 50 м³/м³. Содержание растворенного кислорода на выходе 4 мг/л.

В состав очистных сооружений входят два вторичных радиальных отстойника, продолжительность отстаивания в них 4 ч.

Биологические пруды-каскады рассчитаны на пребывание сточных вод в течение 30 суток, глубина их в среднем 1,5 м. На выпуске из прудов в водоем $БПК_5$ стоков стабильно и составляет 3—4 мг/л.

Закачка производственных сточных вод в подземные горизонты

Закачка производственных сточных вод в глубокие пласты пористо-трещиноватых пород производится нагнетанием их через специально пробуренные скважины (рис. 5.60). В отдельных случаях, например в нефтедобывающей промышленности, используются уже существующие скважины.

В СССР производственные сточные воды закачивают в глубокие пласты на нефтепромыслах, химических, нефтеперерабатывающих и других предприятиях.

На нефтепромыслах производственные стоки закачивают в нефтесодержащие пласты для поддержания в них пластового давления при добыче нефти. При этом способе, с одной стороны, освобождается часть емкости пласта за счет извлечения нефти, а с другой — исключается необходимость использования пресных вод для заводнения, ресурсы которых в ряде нефтегазоносных районов ограничены.

Наибольшей проницаемостью обладают рыхлые несцементированные песчаные породы, а также трещиноватые и закарстованные карбонатные породы.

Даже при очень благоприятных величинах коэффициента проницаемости приемистость скважины не превышает 1600 м³/сутки. Поэтому уда-

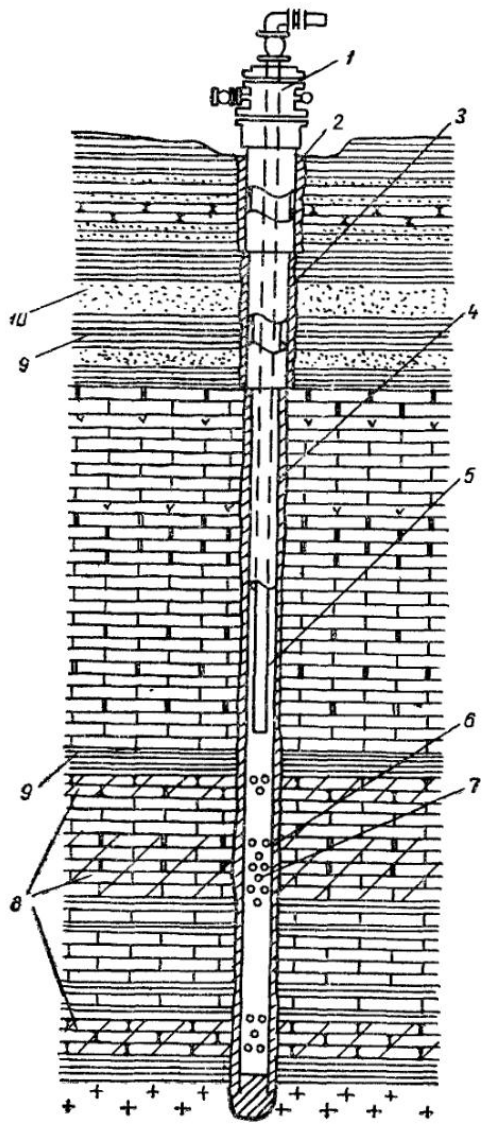


Рис. 5.60. Конструкция нагнетательной скважины

1 — оголовок скважины; *2*—направляющая колонна; *3* — кондуктор; *4* — эксплуатационная колонна; *5* — лифтовые трубы; *6* — цемент; *7* — перфорация; *8* — водоносный горизонт-коллектор; *9* — слабопроницаемые отложения; *10* — зона пресных вод

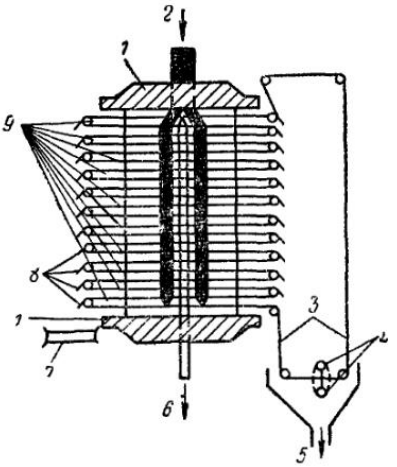


Рис. 5.61. Схема действия автоматизированного фильтр-пресса типа ФПАКМ

1 — поддерживающая плита; *2* — коллектор; *3* — фильтровальная ткань; *4*—насадки; *5*—промывная вода; *6* — фильтрат; *7* — ленточный транспортер, *8* — ножи; *9* — камеры

ление производственных сточных вод в скважины целесообразно производить в ограниченных объемах.

При решении вопроса закачки производственных стоков следует учитывать санитарную безопасность и экономическую эффективность выбранного метода, определяемую характером и объемом промышленных стоков, необходимостью подготовки их для закачки, стоимостью бурения, оборудования и защиты его от коррозии, а также эксплуатации скважины.

Обработка осадка

Количество и физические свойства осадка (шлама), получающегося при очистке производственных сточных вод, зависят не только от начального состава этих вод, но и от способа их очистки; в свою очередь от состава и свойств осадка зависит способ его дальнейшей обработки, использования и ликвидации.

При обезвоживании осадка производственных сточных вод применяются те же приемы и технические средства, как и при обезвоживании осадка бытовых сточных вод, однако главным образом получило распространение механическое обезвоживание (вакуум-фильтрация, фильтр-прессование, вибрационное фильтрование, центрифугирование). Количественные показатели процесса обезвоживания определяются экспериментально для осадка каждого вида производственных сточных вод.

Для механического обезвоживания осадков производственных сточных вод, близких по составу к осадкам бытовых сточных вод, применяются вакуум-фильтры.

Для механического обезвоживания труднофильтруемых шламов применяются фильтр-прессы, в том числе автоматизированный камерный фильтр-пресс типа ФПАКМ (фильтр-пресс автоматический камерный модернизированный) с рабочим давлением 1,5 МПа и площадью фильтрации 5—25 м^2 (рис. 5.61).

Фильтр-пресс состоит из горизонтальных плит-камер, расположенных между поддерживающими плитами. Горизонтальные плиты обтягиваются фильтровальной тканью. Обезвоживаемый осадок и сжатый воздух для продувки подаются по коллектору и с помощью боковых каналов распределяются по камерам.

Фильтроцикл включает подачу осадка в камеры, его обезвоживание под давлением, выгрузку обезвоженного осадка и регенерацию фильтровальной ткани. После обезвоживания осадка ткань перемещается по замкнутому контуру на один шаг, соответствующий длине фильтровальной плиты. При перемещении ткани производятся съем обезвоженного осадка ножами и ее регенерация водой, подающейся из насадок. Обезвоженный осадок перемещается ленточным транспортером в приемный бункер, а фильтрат и промывная вода сбрасываются в канализацию. Все операции фильтр-прессования автоматизированы и осуществляются по заранее заданному режиму. Опыт работы фильтр-пресса ФПАКМ-25 по обезвоживанию осадка сточных вод литейных производств показывает, что достигается производительность по сухому веществу 30 кг/(м^2·ч) при давлении фильтрования 0,3 МПа. Продолжительность фильтроцикла при этом 20 мин, влажность обезвоженного осадка 40%, давление воздуха при просушке 0,4—0,5 МПа.

Наибольший эффект получается при использовании фильтр-прессов для обезвоживания шламов минерального происхождения. В этих случаях отпадает необходимость в применении коагулянтов и одновременно достигаются низкая влажность кека и высокая производительность фильтра при сравнительно низких значениях давления фильтрации. При этом кек легко отделяется от фильтровальной ткани, а последняя хорошо регенерируется.

Исключение представляют шламы минерального происхождения, имеющие структуру геля. При обезвоживании такого осадка влажность кека не снижается менее 75—80% даже при давлениях 1—1,4 МПа и одновременном применении больших доз различных коагулянтов.

Обработка осадков, образующихся в результате коагулирования взвешенных веществ, начинается с уплотнения до концентрации осадка 1,8—2,6%. Затем осадок поступает на фильтр-прессы. Предварительная обработка осадка известью позволяет получить кек с влажностью до 40%. Фильтрат может быть использован для регенерации коагулянта.

Регенерация сульфата алюминия из осадка осуществляется с помощью обработки осадка серной кислотой при соответствующей величине pH. После регенерации в осадке остается 10% сульфата алюминия от первоначального его объема. Оставшийся осадок хорошо обезвоживается на фильтр-прессах, в результате чего образуется кек с содержанием 40—50% сухого вещества.

Известны два метода регенерации: первый — после предварительного обезвоживания, высушивания и выжигания органической части; второй — влажного осадка без предварительного подсушивания и прокаливания.

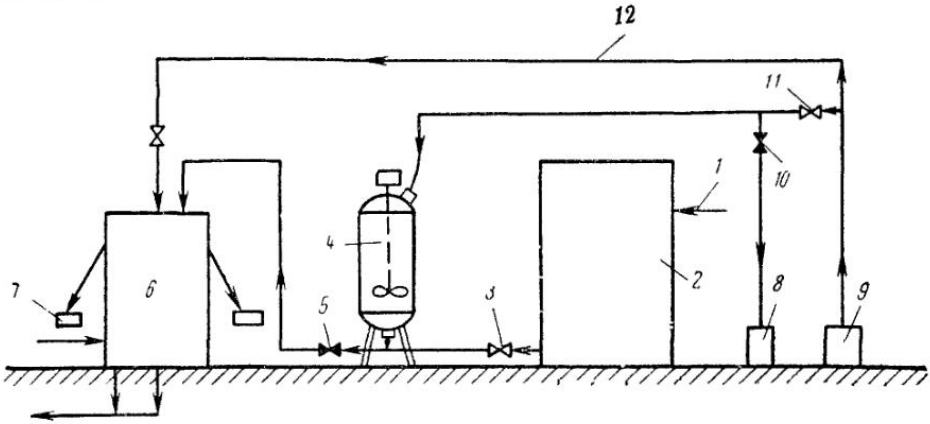


Рис. 5.62. Схема технологического процесса фильтр-прессования осадков

1 — подача осадка на обезвоживание; *2* — резервуар; *3, 5, 10, 11* — задвижки; *4* — монжус; *6*—фильтр-пресс; *7* — транспортер; *8* — вакуум-насосы; *9* — компрессоры; *12* — трубопровод сжатого воздуха

Рекомендуемая схема технологического процесса обезвоживания шламов производственных сточных вод приведена на рис. 5.62. Обезвоживаемый осадок подается в резервуар, из которого под действием вакуума, создаваемого вакуум-насосами, перепускается в монжус. После заполнения монжуса закрываются задвижки *3* и *10*, открываются задвижки *5* и *11* и включаются компрессоры. Под давлением сжатого воздуха осадок из монжуса выдавливается в фильтр-пресс, где происходит обезвоживание осадка. После окончания процесса фильтрации компрессор выключается, раздвигаются плиты фильтр-пресса и фильтровальная ткань с образовавшимся кеком протягивается на один ход, равный длине плиты.

Кек снимается ножами и подается на ленты транспортером, которые перемещают его в бункер или непосредственно в автосамосвалы. Одновременно часть фильтровальной ткани, перемещающаяся за пределами фильтра, очищается щетками и промывается с двух сторон водой, подающейся под давлением через специальные насадки. Для более полного удаления кека и прочистки коллекторов в фильтр-пресс по трубопроводу может подаваться сжатый воздух компрессором. В некоторых случаях вакуум-насосы не устанавливаются, а для перекачки осадка в монжус пользуются теми же компрессорами, что и для создания давления на фильтр-прессе.

Вместо вакуум-насосов, компрессоров и монжуса могут применяться плунжерные насосы, которые забирают осадок непосредственно из резервуара и под требуемым давлением подают на фильтр-прессы.

Одним из перспективных способов безреагентного сгущения и обезвоживания осадка производственных сточных вод является вибрационное фильтрование, которое заключается в использовании колебаний фильтровальной перегородки для интенсивного процесса разделения твердой

и жидкой фаз. Для сгущения и обезвоживания осадка применяются безнапорные вибрационные фильтры. Так, например, при обезвоживании шлама доменной газоочистки на вибрационных фильтрах при начальной влажности 75—80% после I ступени сгущения конечная влажность составила 35—42% при пропускной способности вибрационного фильтра по сухому веществу 1000—1500 кг/(м²·ч) и после II ступени сгущения конечная влажность была 28—32% при пропускной способности 2000—3000 кг/(м²·ч).

Для обезвоживания осадков производственных сточных вод применяются центрифуги (рис. 5.63). Преимущество центрифугирования состоит в том, что центрифуги занимают мало места. Центрифугированию поддается осадок, как уплотненный до 60% влажности, так и выпускаемый из отстойников с влажностью 99%.

Опыт работы центрифуг типа НОГШ показывает, что влажность обезвоженного осадка составляет 65—75%, фугат имеет вид разбавленного осадка, так как в нем остается от 40—50 до 75% сухого вещества. Производительность центрифуги НОГШ-350 1,6—2,3 м³/ч.

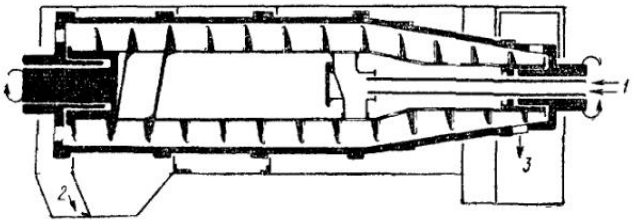


Рис. 5.63. Дисковая центрифуга для обезвоживания осадка производственных сточных вод

1 — подача; *2* — выход; *3* — обезвоженный шлам

Повышение эффективности центрифугирования может быть достигнуто улучшением гидродинамических условий потока в роторе центрифуги с совпадающими потоками. В этих центрифугах подача осадка осуществляется в начале зоны осаждения, не вызывает взмучивания транспортируемого шнеком слоя обезвоженного осадка. Направления движения фугата и обезвоженного осадка в данной центрифуге совпадают. Увеличение прозрачности возвращаемого в цикл очистки сточных вод фугата можно получить также предварительной обработкой осадка флокулянтами, известью.

Если в результате центрифугирования остаточная влажность осадка велика, целесообразно использовать центрифугу для предварительного сгущения шлама с последующим обезвоживанием его на фильтр-прессах.

Для обезвоживания осадка успешно применяется метод замораживания. Для уменьшения объема обрабатываемого осадка и снижения стоимости обработки осадок следует подвергать сгущению.

Метод обработки осадков замораживанием состоит из двух этапов: замораживания в холодильной камере и последующего нагревания его в специальном резервуаре. Эффект замораживания заключается в разрушении гелей, содержащих гидрофильные соединения. При нагревании осадок уже не приобретает первоначального студенистого состояния и имеет уменьшенный объем. Содержание сухого вещества в нем составляет 15—20%.

Для замораживания осадков, подлежащих обезвоживанию, применяют компрессорные холодильные установки. Наиболее экономичным методом обработки считается естественное замораживание в лагунах. В результате получается осадок с содержанием 20—25% сухого вещества.

Для замораживания осадка применяются и пруды-накопители. Они не имеют искусственных дренажных устройств и оборудуются сливными

устройствами. Емкость прудов-накопителей рассчитывается на хранение осадка в течение 3—5 лет, после чего он уже больше не эксплуатируется либо очищается для повторного использования. Пруды-накопители лучше всего устраивать из 2—3 самостоятельных секций.

Наибольшие трудности наблюдаются при подсушивании в прудах-накопителях осадка гидроксида алюминия. В процессе подсушки осадка и слива осветленной воды на поверхности осадка образуется сухая корка, препятствующая дальнейшему его подсыханию. Осадок под коркой находится в разжиженном виде и сохраняет такое состояние длительное время.

Добавление к осадку в прудах извести позволяет повысить концентрацию твердой фазы осадка в нижних слоях до 25% (в мелких прудах до 50%).

Если осадок производственных сточных вод после обезвоживания не используется, его сжигают. В Мосводоканалниипроекте разработан турбобарботажный способ сжигания, осуществляемый в установках «Вихрь» производительностью 0,2; 3 и 10 т/ч.

Установки для турбобарботажного способа сжигания состоят из ванны с барботажной решеткой и расположенной под ней камеры сгорания с тангенциальными соплами для подачи вторичного воздуха. Ванна и камера сгорания выполнены кольцевыми, а барботажная решетка имеет воздухонаправляющие элементы для придания жидким отходам вращательного движения. Высокопроизводительные горелки турбобарботажного типа могут найти применение в централизованных пунктах сжигания нефтеотходов.

Для сжигания неутилизируемого органического осадка производственных сточных вод применяют циклонные печи. В печах этого типа можно сжигать как сырые, так и обезвоженные осадки после вакуум-фильтров и центрифуг, содержащие нефтяные отходы и другие органические шламы, в состав которых входят растворители и хлорированные углеводороды.

Циклонная печь представляет собой вертикальный цилиндр с непроницаемым подом, на котором помещают сжигаемые вещества. Воздух в печь подают тангенциально через насадки, расположенные над слоем осадка. Температура в топочном пространстве поддерживается на уровне 800° С. Продукты горения удаляют через верхнюю коническую часть печи. К достоинствам циклонной печи можно отнести то, что она практически исключает возможность недожога и образование дымов. В циклонной печи можно сжигать гранулированные, твердые, полужидкие и жидкие осадки.

Применяют печи сжигания и другого типа в зависимости от состава отходов, подлежащих уничтожению.

§ 145. СХЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НЕКОТОРЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Схемы канализации нефтеперерабатывающих заводов. Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) относятся к отрасли промышленности, потребляющей большое количество воды. Так, на современных предприятиях удельный расход сточных вод, сбрасываемых после очистки в водоемы на тонну перерабатываемой нефти, составляет: для предприятий топливного профиля — 0,32 м³/т, для предприятий топливно-масляного профиля — 0,57—1,15 м³/т. На заводах ведутся работы, направленные на значительное сокращение удельных расходов сточных вод на тонну перерабатываемой нефти. В проектах новых НПЗ удельный расход стоков на тонну перерабатываемой нефти составляет 0,17—0,26 м³. Это до-

стигнуто за счет максимального внедрения в технологические процессы аппаратов воздушного охлаждения вместо водяного; использования после регенерации реагентов и максимального возврата очищенных производственных сточных вод для оборотного водоснабжения заводов.

Для отведения и очистки сточных вод на НПЗ применяются две основные системы канализации:

первая система канализации — для отведения и очистки производственно-дождевых и нейтральных сточных вод, загрязненных нефтепродуктами. Эти сточные воды после очистки используются для пополнения оборотных систем и водоснабжения отдельных потребителей предприятия;

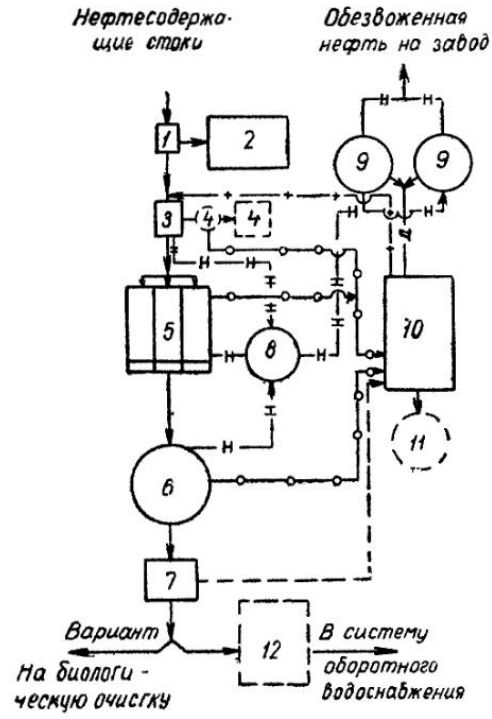


Рис. 5.64. Схема очистных сооружений нефтесодержащих сточных вод

1 — ливнесброс; *2* — аварийный амбар; *3* — решетки и песколовки; *4* — гидроциклоны и песковые площадки; *5* — нефтеловушки; *6*—отстойники дополнительного отстаивания; *7* — флотаторы. Общие сооружения I и II систем: *8*—насосная с приемным резервуаром для нефти; *9* — резервуары для разделки уловленной нефти; *10* — шламовые накопители; *11* — печь для сжигания шлама; *12* — пруд-накопитель

Сети: ———н——— для сбора и откачки уловленной нефти; ———о——— для откачки осадка; ———+——— для отвода отстоенной воды и нефти; ———д——— для шлама и воды от разделки нефти

вторая система канализации — для отведения и очистки эмульсионных и химически загрязненных сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, реагентами, солями и другими органическими и неорганическими веществами (стоки электрообессоливающих установок, сернисто-щелочные, технологические конденсаты, подтоварные воды сырьевых парков и др.). После очистки стоки второй системы канализации, если их невозможно использовать в производстве, направляются для ликвидации или для сброса в водоемы.

В первой канализационной системе предусматривается устройство одной канализационной сети для сбора и отведения на очистные сооружения следующих сточных вод: от конденсаторов смешения и скрубберов (кроме вод барометрических конденсаторов атмосферно-вакуумных трубчаток); от дренажа, технологических лотков, узлов управления (за исключением узлов управления при сырьевых парках), приямков фундаментов под аппаратами и насосами; от охлаждения втулок сальников насосов; от смывных вод с полов производственных помещений; от водной промывки нефтепродуктов после защелачивания (сернисто-щелочные стоки слабой концентрации); от ливневых вод с площадок технологических установок и резервуарных парков.

Во второй канализационной системе необходимо предусматривать устройство отдельных сетей для отведения соответствующих сточных вод в зависимости от вида и степени их загрязнений: сеть для сточных вод от установок по подготовке нефти (ЭЛОУ), подтоварной воды от сырьевых парков, эстакад слива нефти и промывочно-пропарочной станции; сеть для концентрированных сернисто-щелочных вод от аппаратов по защелачиванию нефтепродуктов; сеть для кислых сточных вод, за-

грязненных неорганическими кислотами; сеть для кислых сточных вод, загрязненных парафином и жирными кислотами; сеть стоков, содержащих тетраэтилсвинец (ТЭС). Для очистки производственных сточных вод предусматриваются следующие общезаводские комплексы очистных сооружений: локальной очистки для стоков, загрязненных специфическими веществами, затрудняющими очистку общего стока; механической очистки для промышленно-ливневых сточных вод первой системы и солесодержащих стоков ЭЛОУ второй системы; биохимической очистки сточных вод первой и второй систем канализации; доочистки биохимически очищенных сточных вод (при необходимости в зависимости от местных условий); по обезвоживанию уловленных нефтепродуктов; по обработке нефтешлама. На очистных сооружениях предусматриваются устройства для измерения расходов: сточных вод, поступающих на очистные сооружения; очищенных сточных вод, возвращаемых для повторного использования; очищенных сточных вод, подлежащих сбросу в водоем; осадка, направляемого на сжигание или в шламонакопители; циркулирующего и избыточного активного ила; воздуха, поступающего на аэротенки; уловленных и обезвоженных нефтепродуктов.

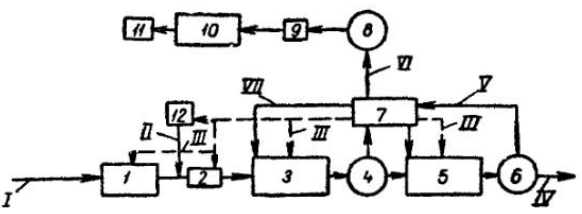


Рис. 5.65. Принципиальная схема двухступенчатой биологической очистки сточных вод нефтехимических заводов

1 — усреднитель; *2* — смеситель; *3* — аэротенки-смесители I ступени; *4* — вторичные отстойники I ступени; *5* — аэротенки II ступени; *6* — вторичные отстойники II ступени; *7* — насосно-воздушная станция; *8* — илоуплотнители; *9* — насосная станция для перекачки ила; *10* — накопитель осадка; *11* — установка для утилизации обезвоженного избыточного активного ила; *12* — реагентная установка; трубопроводы: *I* — сточной воды после флотаторов; *II* — подачи питательного раствора; *III* — воздухопровод; *IV* — очищенной сточной воды в буферный пруд; *V* — активного ила II ступени; *VI* — избыточного ила I ступени, *VII* — возвратного активного ила I ступени и избыточного ила II ступени

Стоки, отводимые сетью производственно-дождевой канализации, поступают на очистные сооружения, где подвергаются очистке от нефтепродуктов (рис. 5.64).

Достаточно эффективным методом очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов является флотация. Напорная флотация обеспечивает удаление нефтепродуктов до 20 мг/л.

Эффект флотации существенно повышается при использовании коагулянтов и флокулянтов: сульфата алюминия, хлорида железа, полиакриламида и др. В этом случае остаточная концентрация нефтепродуктов при очистке сточных вод не превышает 10 мг/л.

Для биологической очистки нефтесодержащих сточных вод применяются аэротенки и окислительные пруды. Очищенные воды используются в системе оборотного водоснабжения (Полоцкий НПЗ и др.).

Нейтральные нефтесодержащие сточные воды, которые отводятся первой системой канализации НПЗ, обычно подвергаются механической и физико-химической очистке для использования их в системе оборотного водоснабжения. Однако опыт эксплуатации действующих сооружений показывает необходимость применения биологической очистки для предотвращения биологических обрастаний и коррозии оборудования оборотных систем. В этом случае целесообразно применение одноступенчатых аэротенков.

Расчетные параметры одноступенчатой биохимической очистки стоков первой системы

Продолжительность аэрации, ч	6
Объем регенератора, % объема аэротенка	33

Удельный расход воздуха при высоте слоя воды в аэротенке 4 м, $м^3/м^3$	25 –30
Концентрация активного ила по сухому веществу, г/л	2—4
Средний прирост активного ила по сухому веществу, $г/м^3$	25—50
Концентрация биогенных элементов — фосфора, мг/л :	3
То же, азота	до 15 (добавляется в случае необходимости)
Продолжительность отстаивания во вторичных отстойниках, ч	3
Расчетный эффект очистки (мг/л):	
по $БПК_{полн}$	15—20
по содержанию веществ, экстрагируемых серным эфиром	10—15
в том числе:	
углеводородов нефти	3—5
по содержанию взвешенных веществ	до 25

Для биологической очистки сточных вод второй канализационной системы, которая объединяет стоки, содержащие значительные количества солей, минеральных и органических кислот, спирты, сернистые соединения, а также нефтепродукты, фенолы и тетраэтилсвинец, целесообразно применение двухступенчатых аэротенков (рис. 5.65), но может быть применена одноступенчатая очистка.

Расчетные параметры одноступенчатой очистки стоков второй системы

Продолжительность аэрации, ч	6—8
Объем регенератора, %	33
Удельный расход воздуха при высоте слоя воды в аэротенке 4 м, $м^3/м^3$	20—25
Концентрация активного ила по сухому веществу, г/л	2—3
Средний прирост активного ила по сухому веществу, $г/м^3$	25
Концентрация биогенных элементов, мг/л:	
азота	10—15
фосфора	2—3
Продолжительность отстаивания во вторичных отстойниках, ч	3
Расчетный эффект очистки (мг/л):	
по $БПК_{полн}$	15—20
по содержанию веществ, экстрагируемых эфиром	10—15
в том числе:	
углеводородов нефти	3—5
по содержанию взвешенных веществ	25—30
по содержанию растворенного кислорода в очищенной воде	3—4
Запах нефтепродуктов	Отсутствует

Эти воды могут очищаться совместно с бытовыми стоками заводов. На I ступени очистки применяют аэротенки-смесители с регенерацией активного ила, на II ступени — аэротенки-вытеснители без регенераторов. Эффективность работы сооружений биологической очистки на сточных водах НПЗ характеризуется следующими данными.

Расчетные параметры двухступенчатой очистки стоков второй системы

Продолжительность аэрации, ч:	
в I ступени	3—4
во II »	6—8
Удельный расход воздуха при высоте слоя воды в аэротенке 4 м, $м^3/м^3$:	
в I ступени	30—40
во II »	15—20
Концентрация активного ила по сухому веществу, г/л:	
в I ступени	3—4,5
во II »	0,5—1
Средний прирост активного ила по сухому веществу, $г/м^3$	25—50
Продолжительность отстаивания, ч:	
после I ступени	1,5
» II »	3
Концентрация биогенных элементов такая же, как для одноступенчатой очистки	
Регенерация ила производится только в I ступени	
Объем регенератора — 30% объема сооружений I ступени	
Продолжительность отстаивания во вторичных отстойниках, ч	3
Расчетный эффект очистки (мг/л):	
по $БПК_{полн}$	15—20
по содержанию веществ, экстрагируемых серным эфиром	10—15
в том числе углеводородов нефти	3—5
по содержанию взвешенных веществ	25—30
то же, растворенного кислорода	3—4
Запах нефтепродуктов	Отсутствует

Для стабилизации качества очищенных сточных вод в составе сооружений предусматриваются буферные пруды, в которых завершается процесс биологической очистки.

Ожидаемый эффект очистки в буферном пруду (мг/л): количество эфирорастворимых веществ 2—3,5 (в том числе углеводородов нефти до 1, фенолов 0,03—0,04, $БПК_{полн}$ 2—3; количество взвешенных веществ до 3; кислорода 6).

Комплексная схема канализации предприятий химической промышленности представлена на рис. 5.66. В этой схеме решены вопросы очистки, использования и ликвидации сточных вод химического комбината, ТЭЦ и города с населением 40 тыс. человек.

Бытовые сточные воды города и производственные сточные воды химического комбината проходят раздельно механическую и химическую очистку, а затем совместно — биологическую, после чего поступают в буферный пруд. Условно-чистые и дождевые воды сбрасываются в буферный пруд без предварительной очистки. Собранные и усредненные в пруду сточные воды после отстаивания и фильтрации подвергаются адсорбционной очистке для извлечения из них остаточных органических, хлорорганических и поверхностно-активных веществ, затем — ионообменной очистке для дополнительного умягчения. После этого они поступают на пополнение систем оборотного водоснабжения комбината.

Комплексная технологическая схема предусматривает: самостоятельные водооборотные циклы в каждом производстве с устройством необходимых локальных очистных установок и последующим использованием очищенных сточных вод в производстве; пять систем канализации

с целью четкого разделения и отведения стоков, которые могут быть использованы в производственном водообороте (загрязненные органическими примесями, слабоминерализованные, чистые и ливневые, бытовые сточные воды), специальные общекомбинатские сооружения по очистке сточных вод (биологическая очистка производственных и бытовых сточных вод химического комбината, города и предприятии промышленного узла); опреснение сильноминерализованных сточных вод с использованием дистиллята в производственном водоснабжении и закачку концентрированных рассолов в глубокие горизонты земли, установку на доочи-

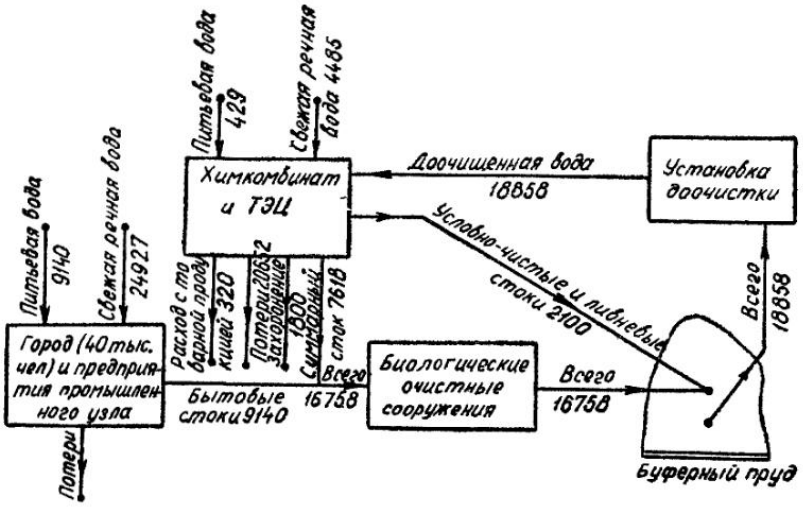


Рис 5 66 Схема баланса потребления воды и использования сточных вод (вариант с доочисткой и использованием сточных вод в промышленном водообороте)

стке биологически очищенных сточных вод с целью возврата всей доочищенной воды в промышленный водооборот, установку по получению товарной продукции при утилизации отходов после сооружений по очистке сточных вод (белково-витаминного концентрата, азотных удобрений и т. д.).

Комплексная схема очистки, использования, ликвидации сточных вод и отходов производства является универсальной и находит применение при проектировании «бессточных» систем канализации предприятий химической, нефтехимической, сахарной, мясо-молочной, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности с учетом особенностей каждого предприятия при достаточном технико-экономическом обосновании.

По такой схеме (рис 5 67) сточные воды нефтеперерабатывающих заводов подвергаются механическои очистке от нефтепродуктов и взвешенных веществ Остаточное содержание нефтепродуктов в воде после этой очистки составляет 30 мг/л, количество взвешенных веществ не превышает 30 мг/л. Дальнейшая очистка воды производится биохимическим методом с применением высоконагружаемых аэротенков с механической системой аэрации и совмещенных со вторичными отстойниками. Эффект очистки на этом сооружении по $БПК_{полн}$ достигает 90% (остаточная $БПК_{полн}$ 20 мг/л), содержание нефтепродуктов 5 мг/л, взвешенных веществ до 25 мг/л, солеи до 800 мг/л В связи с высоким содержанием солей в очищенной воде 50% всей воды подвергается обессоливанию с доведением солесодержания в общем потоке до 560 мг/л, что отвечает требованиям, предъявляемым к качеству воды, которая применяется в технологическом процессе переработки нефти

Схемы канализации НПЗ без сброса производственных сточных вод в водоем характеризуются следующими технико-экономическими пока-

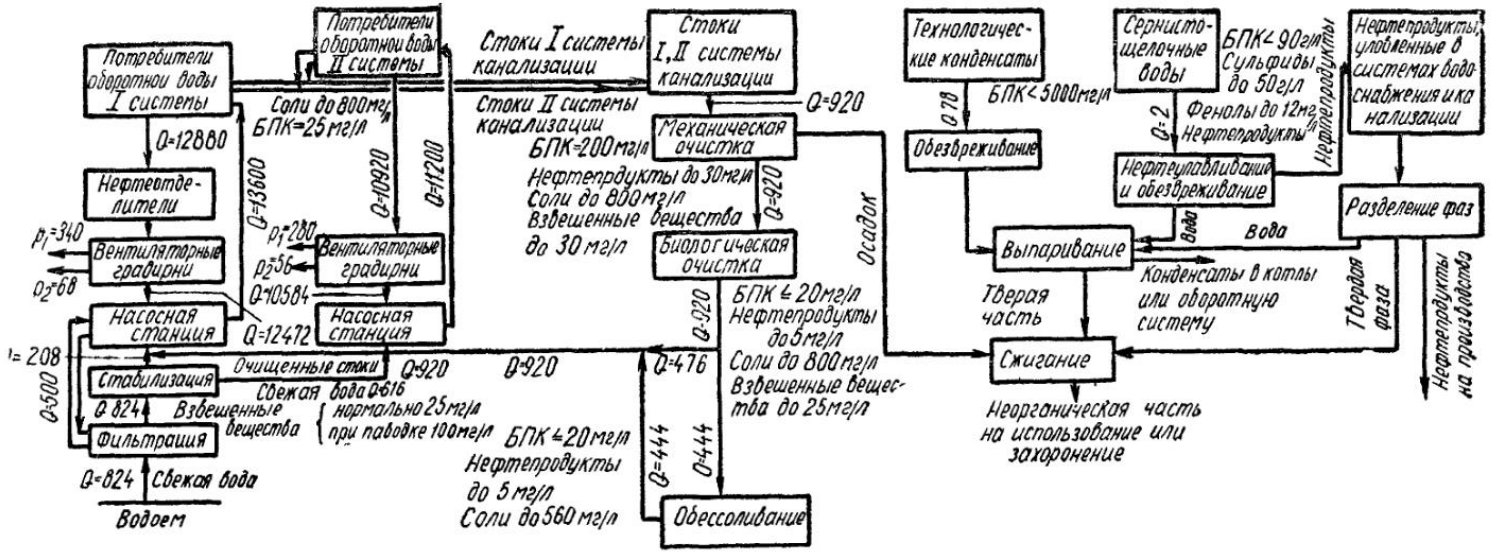


Рис 5 67. Схема очистки и повторного использования сточных вод НПЗ (без сброса сточных вод в водоем)

зателями: расход свежей воды 0,133 м³ на 1 т перерабатываемой нефти; сточных вод, сбрасываемых в водоем, нет, количество оборотной воды 13,2 м³ на 1 т перерабатываемой нефти; стоимость подачи 1 м³ свежей воды 0,036 руб.; стоимость очистки 1 м³ сточных вод 0,216 руб.; удельные капиталовложения на 1 м³ суточного расхода сточных вод 480 руб.

Не менее важным является вопрос наиболее полного и рационального использования отходов производства в качестве вторичного сырья и экономичной и безвредной для окружающей среды их ликвидации.

При необходимости ликвидации отходов и осадков применяется их сжигание, поскольку при горении происходит полное окисление органического вещества осадков и образование стерильного материала — золы. Необходимость предварительного перед сжиганием обезвоживания осадков механическим путем или испарением влаги несколько удорожает себестоимость процесса, которая, однако, может быть снижена использованием выделяющегося при сжигании тепла.

Раздел шестой

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗЫСКАНИЯ

Глава XXVII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ

§ 146. СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Разработка проекта должна осуществляться на основе задания на проектирование, которое составляется заказчиком с участием проектной организации. Задание специализированным проектным организациям на разработку отдельных частей проекта, например водоснабжения и канализации, выдают ведущие проектные организации. Задание на проектирование должно составляться в соответствии с перспективным планом развития народного хозяйства на основании технико-экономических обоснований (ТЭО) целесообразности намеченного строительства и реконструкции города, промышленных предприятий, а также с учетом проектов районной планировки и застройки городов и сельских населенных мест.

В ТЭО должны содержаться показатели, характеризующие эффективность капитальных вложений, и технико-экономические показатели будущего предприятия или сооружения (удельные капитальные вложения на единицу вводимой мощности и выпуска продукции, сроки окупаемости капитальных вложений, выпуск продукции на 1 руб. основных фондов, рентабельность предприятия, себестоимость единицы продукции, производительность труда).

Разработка проекта производится в соответствии с инструкцией, устанавливающей состав и содержание проекта, порядок разработки, согласования и утверждения проектов и смет, по которым должно осуществляться строительство новых, а также расширение или реконструкция действующих сооружений и зданий.

Проектирование канализации промышленных районов должно вестись на основе комплексного решения всей водохозяйственной проблемы с учетом использования местных водных ресурсов для населения, промышленности, ирригации, судоходства, рыбоводства, энергетики и пр. При этом в общем балансе воды должны учитываться и отработавшие сточные воды, особенно в тех случаях, когда ощущается нехватка воды из-за ограниченности ресурсов источников водоснабжения.

Комплексное проектирование водоснабжения и канализации промышленных предприятий и населенных пунктов предусматривает составление схемы единого генерального плана промышленного узла. Такая схема разрабатывается в целях определения наиболее целесообразного в технико-экономическом отношении объединения отдельных предприятий в промышленный узел с комплексным решением водоснабжения, канализации и других инженерных коммуникаций.

После утверждения схемы исходные ее положения являются основа-

нием для составления ТЭО водоснабжения и канализации промышленного узла или его объектов

ТЭО — предпроектный документ, уточняющий и дополняющий схемы развития и размещения соответствующих отраслей промышленности (народного хозяйства), на основании которого обосновываются размещение намечаемого к проектированию и строительству предприятия (сооружения), его производственная мощность, номенклатура продукции, обеспечение сырьем, полуфабрикатами, топливом, электроэнергией и водой, основные технологические и строительные решения и важнейшие технико-экономические показатели производства и строительства предприятия (сооружения).

При разработке ТЭО должны учитываться новейшие достижения науки и техники с тем, чтобы строящиеся, реконструируемые и расширяемые предприятия (сооружения) ко времени ввода их в действие были технически передовыми, имели высокие показатели по производительности труда и качеству продукции, низкую себестоимость продукции и обеспечивали нормальные условия труда.

Технико-экономические обоснования разрабатываются на полную проектную мощность предприятия и на первую очередь строительства с широким использованием передового опыта по аналогичным действующим предприятиям (сооружениям) и наиболее эффективных проектных решений.

В ТЭО содержатся обоснования обеспечения предприятий водой с учетом других потребителей, пользующихся выбранным источником водоснабжения; степени очистки сточных вод, обеспечивающей охрану водоемов от загрязнений при спуске сточных вод или для использования их в производственном водоснабжении.

Технико-экономические обоснования оформляются в виде пояснительной записки с приложением необходимых расчетных, табличных и графических (карты, схемы, чертежи) материалов

ТЭО согласовываются с Госпланом СССР и Госстроем СССР и утверждаются министерствами и ведомствами СССР и советами министров союзных республик.

На основе утвержденного ТЭО составляется задание на разработку технического проекта.

Проектирование канализации ведется, как правило, по двум стадиям. технический проект и рабочие чертежи.

Разработка проекта в одну стадию (техно-рабочий проект) допускается (с разрешения утверждающей инстанции) в тех случаях, когда для выбора строительной площадки или трассы для канализационного трубопровода не требуется предварительного выполнения проектных и изыскательских работ, т. е. когда решение этих вопросов с достаточной очевидностью предопределяется местными условиями строительства, опытом проектирования аналогичных объектов и наличием соответствующих типовых или рекомендованных для повторного применения экономичных индивидуальных проектов.

Техно-рабочий проект должен разрабатываться в объеме, необходимом для оценки принятых решений и производства строительно-монтажных работ, и состоять из пояснительной записки с технико-экономическими показателями, схемой генерального плана (для предприятия) и рекомендациями по организации строительства; рабочих чертежей с приложением заказных спецификаций на оборудование, приборы, арматуру и другие изделия; смет, составленных по рабочим чертежам; паспорта.

В отдельных случаях при проектировании объектов с новым неосвоенным производством или сложным технологическим процессом, а также при проектировании зданий и сооружений особой строительной сложности допускается (с разрешения инстанции, утверждающей проектное

задание) до выполнения рабочих чертежей производить доработку проектных решений отдельных цехов, зданий, сооружений и других частей проекта в той степени, в которой это требуется для выявления технических характеристик оборудования и выполнения рабочих чертежей.

Ведение проектирования по двум стадиям основывается на возможности широкого использования для строительства типовых проектов [1].

Технический проект канализации любого объекта, включая очистку и обезвреживание сточных вод, должен быть выполнен с учетом местных условий и санитарных требований.

В проекте, включающем пояснительную записку с обоснованием расходов и состава сточной воды, с необходимыми графическими материалами и сметой, дается технико-экономическое сравнение возможных вариантов решения схемы канализации города и промышленных предприятий и обосновывается выбор оптимального варианта самой схемы и метода очистки сточных вод, а также места выпуска их в водоем.

В проекте должны быть установлены расчетные сроки работы проектируемой канализации и разбивка строительства на очереди, определены основные размеры сооружений, произведен выбор оборудования, составлено штатное расписание эксплуатационного персонала и исчислены стоимость строительства и себестоимость отведения и очистки сточных вод.

Графические материалы должны включать генеральные планы объекта и планы окрестностей, варианты решения схемы канализации с указанием расположения всех основных сооружений и их чертежи (для определения размеров сооружений и основных конструкций, позволяющих исчислять строительную стоимость).

Порядок составления проекта канализации и характер вопросов, разрешаемых на отдельных стадиях проектирования, приведены ниже.

Технический проект. В пояснительной записке к проекту по канализации приводятся исходные и нормативные данные, гидравлические, технологические, технико-экономические и другие расчеты по количеству и составу сточных вод, сетям, насосным станциям и очистным сооружениям, энергоснабжению; определяются материалы и способы производства работ, очередность и сроки осуществления строительства. Решаются вопросы технической эстетики. На стадии технического проекта определяется сметная стоимость строительства канализации.

Канализационные сооружения, при расширении которых в будущем потребуются значительные дополнительные затраты на их устройство, должны проектироваться и осуществляться сразу на расчетный срок. Сооружения, строительство которых можно осуществлять по мере потребности без значительных затрат на их переустройство, должны проектироваться в объеме, необходимом только на первую очередь с расчетом на их полное использование при дальнейшем развитии строительства.

В первую очередь прокладывается та часть канализационной сети, которая необходима для обслуживания уже существующих или строящихся жилых кварталов и промышленных предприятий исходя из капитальной застройки.

Условия спуска сточных вод и способы их очистки должны быть согласованы на стадии проектирования с исполкомом местного Совета депутатов трудящихся, с бассейновой водной инспекцией Министерства мелиорации и водного хозяйства союзных республик, а также с органами Государственного санитарного надзора, а при спуске сточных вод в водоемы рыбохозяйственного значения — и с органами Рыбоохраны. При спуске сточных вод в судоходные реки необходимо согласовать место выпуска и его конструкцию.

[1] Инструкция по типовому проектированию для промышленного строительства (СН 227-70). М., Госстройиздат, 1970.

В техническом проекте должен быть приведен перечень используемых типовых проектов. Типовые проекты содержат следующие материалы: заглавный лист с перечнями чертежей данной марки, примененных стандартов, типовых чертежей с системой условных обозначений; планы в масштабе 1 : 200 и в необходимых случаях элементы планов в масштабе 1 : 50 или 1 : 100 с указанием оборудования и сетей водопровода и канализации; схемы водопровода, хозяйственно-фекальной, производственной и ливневой канализации; общие виды нетиповых конструкций, узлов и деталей в масштабе 1 : 50; указания по антикоррозионной защите, заказные спецификации на все виды оборудования, приборов, арматуры и других изделий. Чертежи водопровода и канализации, как правило, должны выпускаться совмещенными.

Проект и смета к техническому проекту подлежат утверждению в установленном порядке. На основе утвержденного проекта должны составляться спецификации оборудования.

Составленные по техническому проекту сметы на строительство отдельных зданий и сооружений и сметы на отдельные виды строительных и специальных работ согласовываются со строительной организацией. Затем составляется сводка объемов и определяется размер затрат на приобретение оборудования и стоимость работ по его монтажу. После этого составляют сводную ведомость, определяющую потребность в производственных ресурсах.

Рабочие чертежи составляются на основе утвержденного технического проекта и полученных от заказчика технических данных по заказанному оборудованию для строительства канализации. При разработке рабочих чертежей должны быть использованы стандарты и типовые чертежи отдельных сооружений.

Унификация канализационных сооружений (ведущие институты Союзводоканалниипроект, Мосводоканалниипроект и Гипрокоммунводоканал) позволит ускорить темпы строительства и ввода в действие объектов. Монтаж сооружений в этом случае сводится к применению небольшого числа (18—20) унифицированных блоков.

При проектировании сложных объектов целесообразно использование метода объемного (макетного) проектирования. Особое значение этот метод приобретает, когда проектируемые сооружения насыщены большим количеством трубопроводов разного назначения с соответствующей арматурой и приборами автоматизации технологического процесса. Объемное проектирование ведется комплексной группой проектировщиков, состоящей из сантехников, строителей, энергетиков, специалистов по автоматике и контрольно-измерительным приборам. Пользуясь сборно-разборным макетом, выбирают лучший вариант. Основным видом проектной документации служит фото с масштабного макета. При одностадийном проектировании масштаб модели принимается 1 : 50 или 1 : 25, а при большой насыщенности трубопроводами — 1 : 10.

После согласования и утверждения окончательного варианта проектировщики производят графическую и расчетную доработку технологических коммуникаций, уточняют диаметры трубопроводов, узлов и т. д. При этом все схемы трубопроводов графически составляются упрощенно. В последнее время вместо графической доработки применяют фотографирование узлов модели с последующим их изготовлением и монтажом по фотографиям.

Опыт объемного проектирования показал, что кроме улучшения качества проекта достигается снижение стоимости проектирования на 10—15%. Но главное преимущество объемного проектирования — в его наглядности, в исключении ошибок и в возможности лучшей организации строительно-монтажных работ.

Работа по научной организации труда в проектировании развивается по следующим направлениям:

1. Применение электронно-вычислительных машин в инженерных расчетах.

2. Разработка различных бланков, штампов и инструктивно-методических материалов, определяющих способы оформления, состав и содержание проектно-сметной документации.

3. Бескалькировочный способ изготовления и размножения чертежей.

4. Организация диспетчерской службы и контроля за ходом выполнения проектных работ.

5. Улучшение деятельности вспомогательных служб института (машинописное бюро, делопроизводство и др.).

§ 147. РАЙОННЫЕ И ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

Схемы районного водоснабжения и канализации составляются на основе проекта районной планировки с учетом перспективы развития района в соответствии с государственным планом развития народного хозяйства. При составлении схемы должны быть хорошо изучены и полностью учтены местные условия. Должна быть обоснована целесообразность присоединения к центральной системе отдельных канализуемых объектов в зависимости от места их расположения и количества сточных вод. Для мелких потребителей воды наиболее экономичной является схема с присоединением предприятия к районным водопроводным и канализационным сетям. Для средних и крупных промышленных потребителей воды наиболее экономичной является схема с максимальным использованием очищенных сточных вод в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Районные схемы канализации разрабатываются в две стадии:

на первой — в ТЭО рассматриваются возможные принципиальные решения по отведению, очистке и использованию сточных вод промышленных предприятий и населенных мест с ориентировочной технико-экономической и санитарной оценкой каждого из вариантов;

на второй стадии проектирования детально разрабатываются только те основные варианты районной схемы канализования, которые рекомендованы ТЭО. При этом определяются параметры основных сооружений, капитальные затраты и эксплуатационные расходы, а также основные мероприятия по санитарной защите водоемов.

На основе районной схемы канализации разрабатываются технические проекты канализации отдельных промышленных предприятий и населенных мест.

Проект районной схемы состоит из пояснительной записки и графического материала.

В пояснительной записке определяются нормы водоотведения (по очередям строительства) и расчетные количества сточных вод, намечаются методы очистки сточных вод и устанавливается объем сооружений для подсчета ориентировочной их стоимости. Графический материал состоит из топографической карты района со схемой планировки в масштабе не менее 1 : 50 000 с указанием на ней мест расположения основных сооружений канализации и схематической инженерно-геологической карты участков под поля орошения и фильтрации, если они предусматриваются проектом.

Кроме районных схем водоснабжения и канализации, разрабатываются генеральные схемы комплексного использования и охраны водоемов, включающие ряд районных схем.

При комплексном решении водохозяйственной проблемы (промышленного, городского, железнодорожного и сельскохозяйственного водо-

снабжения, гидроэнергетики, ирригации, судоходства, рыбоводства и др.) в общем балансе водного хозяйства учитывают все сточные воды, особенно в тех случаях, когда этот баланс района получается напряженным из-за ограниченности водных ресурсов.

Производственные сточные воды учитывают для повторного использования в том же технологическом процессе или для использования на соседних предприятиях, а также для орошения и обводнения пригородных и сельскохозяйственных земель.

Характерным примером комплексного использования водных источников в интересах народного хозяйства страны является осуществление генеральной схемы водоснабжения и канализации Донбасса, Кривбасса, Кузбасса, Приуралья, Южного берега Крыма, Москвы, Харькова, Магнитогорска, а также других промышленных районов и крупных городов Советского Союза.

Институтом Гидропроект имени С. Я. Жук разработана генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов Советского Союза, которая включает в себя основные положения республиканских схем, общесоюзные водохозяйственные проблемы и основные принципы перспективного развития отдельных отраслей водного хозяйства, в том числе водоснабжения и канализации.

Раздел водоснабжения и канализации генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов Советского Союза содержит основные принципы перспективного развития водоснабжения и канализации в стране. В этом разделе намечается предполагаемая степень обеспечения городов и рабочих поселков централизованным водоснабжением и канализацией, определяются нормы водопотребления и водоотведения для населенных пунктов и промышленных объектов, даются рекомендации по методам очистки питьевой воды и канализационных стоков.

В генеральной схеме предусматривается внедрение в производство прогрессивных технологических схем и сооружений, применение новых строительных материалов, выделяются особо важные научные проблемы. Особое внимание уделяется вопросам охраны водных источников от загрязнений: обобщаются мероприятия по охране водоемов, намечаемые республиканскими схемами, рассматриваются вопросы введения повторного использования воды, работы предприятия без спуска сточных вод в водоемы, извлечения из стоков ценных веществ, вопросы создания зон санитарной охраны и т. д.

В генеральной схеме особое значение приобретают вопросы организации водного хозяйства в стране.

Для крупных систем водоснабжения и канализации возникает необходимость в создании новейших автоматизированных систем управления (АСУ), представляющих собой системы управления с применением современных автоматических средств обработки данных и экономико-математических методов для решения основных задач управления.

По функциональному признаку автоматизированная система управления водопроводным и канализационным хозяйством (АСУ ВКХ) может рассматриваться как подсистема АСУ жилищно-коммунальным хозяйством города или области. При этом предполагается, что такие задачи, как обработка бухгалтерской и технико-экономической информации, плановые расчеты, материально-техническое снабжение и т. п., ведутся на уровне АСУ жилищно-коммунальным хозяйством, а АСУ ВКХ представляет собой систему управления технологическим процессом, т. е. решает задачи оперативного оптимального управления и контроля, планирования ремонтного обслуживания и т. д.

Спецификой работы водопроводных и канализационных систем являются постоянно меняющиеся нагрузки, территориальная разбросан-

ность сооружений, что обусловливает необходимость координирования их работы из одного центра. Использование вычислительных машин с применением современных математических методов управления позволяет значительно повысить качество управления технологическим процессом очистки сточных вод и его экономическую эффективность.

§ 148. ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В соответствии со стадиями проектирования систем канализации изыскания разделяются на рекогносцировочные, необходимые для принципиального решения генеральной схемы, и детальные — для разработки технического проекта и рабочих чертежей канализуемого объекта.

Рекогносцировочные обследования заключаются в ознакомлении с канализуемым объектом на месте, сборе имеющихся планировочных и топографических материалов, литературных и других данных по климату, инженерной геологии, гидрогеологии и санитарной характеристике района, необходимых для решения генеральной схемы.

В результате рекогносцировки составляется пояснительная записка. Записка сопровождается имеющимися картографическими материалами в масштабе не менее 1 : 50 000 с нанесением генеральной схемы канализации и схематической инженерно-геологической карты района.

К записке прикладывается программа изысканий для технического проекта.

Детальные изыскания для технического проекта. Для составления технического проекта требуются те же изыскательские материалы, что и для генеральной схемы, но уже с меньшим охватом территории и более полная гидрогеологическая и санитарная характеристика водоема (включая анализы воды), топографические и инженерно-геологические данные.

Место выпуска сточных вод в намеченный водоем, степень их очистки, расположение очистных сооружений должны быть согласованы с органами Государственного санитарного надзора, Рыбоохраны и Министерством мелиорации и водного хозяйства республики.

Пересечения железных дорог водоводами и коллекторами предварительно согласовываются с управлением железной дороги.

При проектировании канализации прежде всего должны быть использованы существующие карты и планы. Для получения недостающих материалов производят съемки в натуре.

Инженерно-геологические данные получают как на основе имеющихся материалов об общих инженерно-геологических условиях строительной площадки, так и в результате проведения инженерно-геологических изысканий на площадках проектируемых сооружений и по трассам коллекторов.

Изыскания для рабочих чертежей. Для составления рабочих чертежей проводят следующие изыскания дополнительно к выполненным для технического проекта:

топографическую съемку трассы канализационных коллекторов и площадок под отдельные канализационные сооружения:

необходимые инженерно-геологические и гидрогеологические исследования;

более детальное санитарно-техническое обследование водоемов, в которые намечен спуск сточных вод.

Кроме того, проектировщики должны иметь метеорологические и другие климатические данные (от местных метеостанций и других организаций).

Глава XXVIII

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМ КАНАЛИЗАЦИИ

§ 149. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ

При разработке проектов канализации необходимо производить технико-экономические расчеты с целью выбора наиболее выгодного варианта. По каждому из них определяются капитальные вложения (строительная стоимость и затраты на формирование оборотных средств) и эксплуатационные затраты. При разработке проекта строительная стоимость канализации определяется сметой. Эксплуатационные расходы подсчитываются по соответствующей калькуляции.

Основными технико-экономическими показателями, характеризующими принятые решения, являются: капитальные вложения, годовые эксплуатационные расходы, капитальные вложения на 1 м^3 суточного расхода сточных вод в целом по системе и отдельно по очистным сооружениям, себестоимость отведения и очистки 1 м^3 сточных вод. Эти показатели следует определять по очередям строительства.

Обозначим капиталовложения по первому варианту через C_{I}, а величину ежегодных затрат на эксплуатацию — через $Э_{\text{I}}$, соответствующие величины для второго варианта будут C_{II} и $Э_{\text{II}}$.

Если вариант II дает более низкие эксплуатационные расходы и экономию капитальных вложений ($C_{\text{I}} > C_{\text{II}}$ и $Э_{\text{I}} > Э_{\text{II}}$), то очевидно, что он экономичнее первого.

В тех случаях, когда при сравнении вариантов получаются соотношения вида $C_{\text{I}} > C_{\text{II}}$ и $Э_{\text{I}} < Э_{\text{II}}$ или $C_{\text{I}} < C_{\text{II}}$ и $Э_{\text{I}} > Э_{\text{II}}$, для решения вопроса о выборе экономически более выгодного варианта необходимо устанавливать срок окупаемости T или обратную ему величину коэффициента сравнительной эффективности E по формулам:

$$\frac{C_{\text{I}} - C_{\text{II}}}{Э_{\text{II}} - Э_{\text{I}}} = T \tag{6.1}$$

или

$$\frac{Э_{\text{II}} - Э_{\text{I}}}{C_{\text{I}} - C_{\text{II}}} = \frac{1}{T} = E_{\text{н}}, \tag{6.2}$$

где $E_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Величину срока окупаемости устанавливают исходя из ряда условий, диктуемых экономикой социалистического хозяйства. Как правило, следует считать при проектировании канализации более экономичным тот вариант, у которого нормативный срок окупаемости меньше, т. е. $T = 8...10$ лет, и соответственно $E_{\text{н}} = 0{,}12$.

Экономический эффект реконструкции системы канализации P в целях повторного использования очищенных сточных вод определяется по формуле

$$P = W(C - C_1) - E_{\text{н}} K_1, \tag{6.3}$$

где C — себестоимость единицы продукции до реконструкции;

C_1 — то же, после реконструкции, если отнести всю стоимость только на оборотную воду W;

$E_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент эффективности, принимаемый в указанных ранее пределах;

K_1 — единовременные затраты (капитальные вложения) на реконструкцию.

В некоторых случаях использование очищенных сточных вод может оказаться неэкономичным по сравнению со сбросом их в водоем и использованием свежей воды из источника. Однако при этом следует учитывать не только стоимость оборотной воды, но и другие факторы, в частности санитарно-технический, подтверждающий, что ограничение сброса сточных вод в водоемы надежно гарантирует охрану их от загрязнений.

При окончательном выборе вариантов следует учитывать, кроме того, целый ряд дополнительных факторов, обусловливающих целесообразность того или иного варианта с народнохозяйственной точки зрения.

Как правило, в проектах следует давать сравнения основных технико-экономических показателей принятого варианта с показателями объекта-аналога. Выбор объекта-аналога следует производить исходя из состава и концентрации загрязнений сточных вод и степени их очистки. Расход сточных вод по сравниваемым объектам не должен значительно отличаться.

Основными технико-экономическими показателями эффективности строительства канализации являются капиталовложения (сметная или балансовая стоимость зданий, сооружений и оборудования) и величина текущих затрат (эксплуатационные затраты, себестоимость очистки).

Критерием сравнительной экономической эффективности капитальных вложений является минимум приведенных затрат $П$.

Приведенные затраты по каждому варианту представляют собой сумму эксплуатационных затрат и капиталовложений с учетом нормативного коэффициента эффективности:

$$П = Э + E_н K, \tag{6.4}$$

где $Э$ — годовые эксплуатационные затраты, руб.;
$E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаемый равным 0,12;
K — капитальные вложения, руб.;
$Э$ и K — могут рассчитываться как в полной сумме капитальных вложений и годовых эксплуатационных затрат, так и в виде удельных капитальных вложений (на 1 м^3 воды) и себестоимости очистки 1 м^3 сточной воды (эксплуатационных затрат, отнесенных к 1 м^3 воды).

Разность приведенных затрат по двум вариантам $П_I$ и $П_{II}$ дает величину годового экономического эффекта от замены одного варианта другим ($Э'$, руб.):

$$Э' = (П_I - П_{II})\, A, \tag{6.5}$$

где A — годовой объем единиц, если приведенные затраты определялись по удельным показателям.

При сравнении с аналогом, являющимся действующим объектом, принимаются данные бухгалтерского учета стоимости (балансовая стоимость и фактические эксплуатационные затраты).

Сравнение нескольких вариантов проектных разработок производится по укрупненным показателям стоимости (сметная стоимость и эксплуатационная смета).

При выборе оптимального варианта сравниваемых проектных решений помимо основных экономических факторов следует учитывать: надежность системы; эффективность защиты водоемов; санитарно-гигиенические показатели; сроки строительно-монтажных работ; расход материалов; дефицитность принимаемых материалов; потребность в рабочей силе; занимаемую сооружениями площадь; возможность сокращения числа типоразмеров сборных элементов; возможность улучшения условий труда обслуживающего персонала.

§ 150. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ И СТОИМОСТИ ОТВЕДЕНИЯ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Для определения экономической эффективности канализационных сооружений необходимо вычислить годовые эксплуатационные затраты, которые слагаются из фонда заработной платы, амортизационных отчислений, стоимости производственной, осветительной электроэнергии, топлива и газа, транспорта и реагентов.

На основании этих данных определяется стоимость 1 м³ отведения и очистки сточных вод.

Стоимость отведения 1 м³ сточных вод C может быть определена по формуле

$$C = Э : Q, \tag{6.6}$$

где $Э$ — годовые эксплуатационные расходы по сети и насосным станциям, включая амортизационные отчисления, руб.;

Q — годовое количество отводимых сточных вод, м³.

Амортизационные отчисления $Э_а$ принимаются в зависимости от срока службы и первоначальной стоимости сооружений. Они принимаются в соответствии с приказами управлений и ведомств, в ведении которых находится канализация. Для ориентировочных подсчетов они могут быть приняты 3,5% строительной стоимости сети и насосных станций.

Стоимость отведения 1 м³ сточных вод в зависимости от местных условий составляет 0,2—2 коп. Меньшая стоимость относится к канализации крупных городов, большая, наоборот, — к малым населенным пунктам.

Стоимость очистки сточных вод определяется на основании технико-экономических показателей для станций биологической очистки (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Технико-экономические показатели для станций биологической очистки бытовых сточных вод

Показатель	Пропускная способность станции, тыс м³/сутки				
	25	35	50	100	200
Удельные капитальные затраты на 1 м³ суточного расхода сточных вод, руб.	56,6 / 56,6	44,8 / 45	36,3 / 36,2	26,4 / 31,6	20,2 / —
Стоимость очистки 1 м³ сточных вод, коп.	3,7 / 3,9	3 / 3,1	2,3 / 2,4	2,4 / 2,2	2 / —

Примечание Над чертой — показатели для варианта с радиальными отстойниками и аэротенками с пневматической аэрацией, под чертой — вариант с радиальными отстойниками и аэротенками с механическими аэраторами

Из сопоставления экономических показателей очистных сооружений различной производительности следует, что стоимость строительства станций с горизонтальными отстойниками пропускной способностью 50 тыс. м³/сутки на 4—5% ниже, чем с радиальными; для станций производительностью 100 тыс. м³/сутки стоимость строительства при использовании радиальных и горизонтальных отстойников практически одинакова.

Эксплуатационные затраты при механическом обезвоживании и термической сушке осадка практически равны затратам для варианта со сбраживанием в метантенках и сушкой на иловых площадках. Исполь-

зование в качестве коагулянта сульфата железа на 8—10% выше, чем использование хлорного железа.

При переводе станций на технологический режим с возвратом избыточного ила в голову сооружений (с непрерывным удалением из первичных отстойников смеси ила с сырым осадком) возможно снижение нагрузки на аэрационные сооружения на 15—20%.

При применении горизонтальных отстойников, рациональной компоновке радиальных отстойников, блокировании зданий, исключении метантенков, узлов подготовки осадка для размещения сооружений требуется площади в 1,5—2 раза меньше.

Численность эксплуатационного персонала устанавливается в зависимости от состава очистных сооружений, метода очистки стоков, обработки осадка и т. п. Месячные оклады обслуживающего персонала принимаются по штатному расписанию.

Годовой фонд заработной платы рабочих по эксплуатации канализации определяется годовой заработной платой всего персонала канализационных сооружений с коэффициентом 1,25—1,4, учитывающим работу в ночные часы, праздничные дни и премиальные начисления. Здесь же следует учитывать оплату по социальному страхованию в размере 4,7% фонда заработной платы. В качестве примера в табл. 6.2 приведен расчет годового фонда заработной платы.

Таблица 62

Годовой фонд заработной платы персонала станций биологической очистки бытовых сточных вод пропускной способностью 25—50 тыс. м³/сутки

Заработная плата	Вариант с пневматической аэрацией		Вариант с механической аэрацией	
	количество работающих	месячный фонд, тыс. руб.	количество работающих	месячный фонд, тыс. руб.
Административно-управленческого аппарата	9	0,8	9	0,8
Персонала сооружений обработки воды . .	28	2,4	29	2,5
Персонала сооружений обработки осадка . . .	7	0,6	7	0,6
Персонала подсобно-вспомогательных служб.				
лабораторий . . .	5	0,5	5	0,5
электромастерской и службы КИП . .	7	0,6	7	0,6
механической мастерской	10	0,9	10	0,9
технологического транспорта и склада	4	0,4	4	0,4
Итого	70	6,2	71	6,3
Итого годовой фонд заработной платы, тыс. руб.	6,2×12=74,5		6,3×12=75,5	
Всего годовой фонд заработной платы с учетом всех начислений (коэффициент 1,4 к прямой зарплате), тыс руб. . .	104		106	

Стоимость текущего ремонта составляет 2,2% капиталовложений, внепроизводственные расходы — 3% прямых затрат.

Расчет расходов на электроэнергию ведется по двум статьям: плата за используемую электроэнергию и за установочную мощность.

Удельные нормы расхода электроэнергии, по данным Гипрокоммунводоканала, для предварительных расчетов могут быть приняты: для очистных сооружений с применением биологической очистки — 220 кВт·ч; при механической очистке стоков — 60—70 кВт·ч на каждые 1000 м³ стоков.

Расчет расхода газа в год для нужд очистных сооружений и потребляемой питьевой воды и для нужд производства устанавливается проектом ориентировочно. Стоимость, расход пара и воздуха определяются расчетом в зависимости от местных условий.

В СССР введены дифференцированно нормы амортизационных отчислений для различных сооружений и оборудования: для канализационных сетей из керамических труб — 3,2% строительной стоимости, из железобетонных труб — 3,6%, асбестоцементных труб — 4,8%. Средний показатель амортизации насосных станций принимается 6,2%.

По очистным сооружениям амортизация составляет, %: здание решеток — 8,8; песколовки — 6,7; аэротенки (биоокислители) — 4,9; хлораторная — 13; метантенки — 5,4; склад хлора — 2,8; двухъярусные отстойники — 6,7; оборудование и монтаж электрооборудования — 6,2; регулирующие резервуары — 5,5; коммуникации — 2,8; первичные отстойники вертикального типа и вторичные отстойники вертикальные — 4; контактные резервуары вертикальные — 4,1; то же, горизонтальные — 10,9.

Амортизационные отчисления, как известно, производятся для накопления средств для одновременного полного восстановления основных средств (сооружений и оборудования), а также для частичного их восстановления путем капитальных ремонтов, выполняемых через определенные промежутки времени.

Суммарная норма амортизационных отчислений в процентах от первоначальной стоимости составляет:

$$b = \frac{K + P_к - O}{T}, \qquad (6.7)$$

где K — первоначальная стоимость основных средств;

$P_к$ — сумма затрат на капитальные ремонты в течение всего срока службы основных средств;

O — остаточная стоимость основных средств к концу срока их службы;

T — число лет службы основных средств (срок окупаемости).

Амортизационные отчисления за один год составляют 6—7% стоимости основных фондов, в том числе отчисления на капитальные ремонты сооружений и оборудования — 2—3%.

Стоимость отведения и очистки 1 м³ сточных вод определяется делением общей суммы годовых эксплуатационных расходов на количество отведенных сточных вод за год.

Отчисления на текущий ремонт исчисляются в размере 0,5% строительной стоимости объекта.

Прочие затраты, связанные с расходами на технику безопасности, охрану труда, техническую учебу, специальное питание и другие нужды, принимаются в размере 10% общего фонда заработной платы.

Общая стоимость отведения и очистки 1 м³ сточных вод определяется как сумма стоимостей, определенных раздельно по сети, насосным станциям и очистным сооружениям. В зависимости от местных условий общая стоимость отведения и очистки 1 м³ составляет 2,5—6 коп.

Следует учитывать экономию денежных средств в результате использования очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения. Здесь необходимо знать стоимость 1 м³ воды, получаемой от город-

ского водопровода, и плату за сброс 1 м³ стоков в городскую канализацию предприятиями, для которых проектируются системы технического водоснабжения. Окупаемость последних определяется отношением стоимости строительства всех сооружений к годовой экономической эффективности.

Сумма годовых затрат по эксплуатации канализации $Э$ слагается из следующих расходов:

$$Э = а + б + в + г + д + е + ж + з, \qquad (6.8)$$

где $а$ — затраты на электроэнергию и топливо; $б$ — то же, на материалы, в том числе химические реагенты, используемые для очистки сточной воды; $в$ — то же, на амортизационные отчисления, включая отчисления на капитальный ремонт; $г$ — то же, на заработную плату производственных рабочих; $д$ — то же, на оплату воды; $е$ — прочие прямые затраты; $ж$ — цеховые и общие расходы, связанные с эксплуатацией канализации; $з$ — внеэксплуатационные расходы.

Себестоимость отвода атмосферных вод определяется делением общей суммы годовых эксплуатационных расходов на площадь водосбора.

Основными путями снижения себестоимости отведения и очистки сточной воды являются полное использование производственной мощности сооружений, применение интенсификации и новаторских методов, правильная организация труда, экономия электроэнергии и топлива, сокращение затрат на реагенты (без ущерба для эффекта очистки воды), а также использование очищенной воды и утилизация осадка и газа, снижение затрат на рабочую силу путем научной организации труда (НОТ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамов Н. Н. Водоснабжение. М., Стройиздат, 1974.

Базякина Н. А. Очистка концентрированных промышленных сточных вод. М., Стройиздат, 1958.

Ботук Б. О., Ржевский Б. Н., Федотов Н. Ф. Канализационные сети. М., Стройиздат, 1966.

Жуков А. И., Демидов Л. Г., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Канализация промышленных предприятий. М., Стройиздат, 1970.

Кагановский А. М. Очистка промышленных сточных вод. Киев, «Будівельник», 1974.

Калицун В. И. Основы водоснабжения и канализации. М., Стройиздат, 1973.

Карелин Я. А., Жуков Д. Д., Денисов М. А., Клочков О. Н. Очистка производственных сточных вод. Опыт Ново-Горьковского нефтеперерабатывающего завода. М., Стройиздат, 1970.

Карелин Я. А., Жуков Д. Д., Журов В. Н., Репин Б. Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. М., Стройиздат, 1973.

Карелин Я. А., Репин Б. Н. Биохимическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. М., Пищепромиздат, 1974.

Койда Н. У., Федоров Н. Ф. Технико-экономический расчет канализационной сети с помощью ЭЦВМ. Л., Стройиздат, 1971.

Колобанов С. К. Новая техника очистки сточных вод. Киев, «Будівельник», 1970.

Курганов А. М., Федоров Н. Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. Л., Стройиздат, 1973.

Лобачев П. В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат, 1972.

Лукиных Н. А. Очистка сточных вод, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества. М., Стройиздат, 1972.

Лукиных А. А., Лукиных Н. А. Канализация (примеры и расчеты сети и насосных станций). М., Стройиздат, 1964.

Лукиных А. А., Лукиных Н. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского. Изд. 4-е. М., Стройиздат, 1974.

Максимовский Н. С. Канализационная сеть. М., Стройиздат, 1964, МКХ РСФСР. Правила безопасности при эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений. М., Стройиздат, 1970.

Николадзе Г. И. Водоснабжение. М., Стройиздат, 1972.

Орловский З. А. Очистка сточных вод за рубежом. М., Стройиздат, 1974.

Положение о порядке планово-предупредительного ремонта водопроводов канализационных сооружений. Госстрой СССР. Стройиздат, 1968.

Постников И. С. и др. Очистка сточных вод в аэротенках-отстойниках. Изд. МКХ РСФСР, 1969.

Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, № 1166—74. М., Министерство здравоохранения СССР, 1974.

Роговская Ц. И. Биохимический метод очистки производственных сточных вод. М., Стройиздат, 1967.

Семенюк В. Д. и Териовец В. Е. Комплексное использование воды в промышленном узле. Киев, «Техника», 1974.

СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. М., Стройиздат, 1972.

СНиП II-А.13-69. «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях».

СНиП II-Б.2-62. «Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах. Нормы проектирования».

СНиП II-Б.6-66. «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования».

СНиП III-32-74. «Нормы проектирования. Канализация. Наружные сети и сооружения».

СНиП III-А.3-62. «Нормы продолжительности строительства предприятий пусковых комплексов, цехов, зданий и сооружений».

СНиП III-30-74. «Правила производства и приемки работ. Водоснабжение, канализация и теплоснабжение. Наружные сети и сооружения».

Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. Г. М. Федоровского. М., Госстройиздат, 1963.

Федоров Н. Ф. Новые исследования и гидравлические расчеты канализационных сетей. М., Стройиздат, 1964.

Федоров Н. Ф., Волков Л. Е. Графики для гидравлического расчета канализационных сетей. М., Госстройиздат, 1964.

Федоров Н. Ф., Шифрин С. М. Канализация. М., «Высшая школа», 1968.

Четвернин Л. А. Проектирование и строительство сборных железобетонных коллекторов. М., Госстройиздат, 1958.

Шигорин Г. Г. Общесплавная система канализации. Изд. МКХ РСФСР, 1968.

Шифрин С. М. и др. Экономика водопроводно-канализационного хозяйства. Л., Стройиздат, 1972.

Яковлев В. А. Кинетика ферментативного катализа. М., «Наука», 1965.

Яковлев В. А., Воронов Ю. В. Биологические фильтры. М., Стройиздат, 1975.

Яковлев С. В., Калицун В. И. Механическая очистка сточных вод. М., Стройиздат, 1972.

Яковлев С. В., Ласков Ю. М. Канализация. М., Стройиздат, 1972.

Aeration in wastewates treatment. Manual of practice. — «Journal of Wates Pollution Control Federation», 1969, № 11, 12, vol. 41, 1970, № 1, vol. 42.

Barnhart E. L. Transfer of oxygen in agueons solutions. — «Journal of the Sanitary Engineering Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers», 1969, SA. 3.

Bohdan Cywinoki, Stanislav Golula, Edward Ploszanski. Oszyszczanie sciekow miejskich. Podstawy technologiczne i zasady projektowania oczyszczalni. Warsawa, ARKADY, 1972.

Waclaw Blaszczyk, Marek Roman, Henryk Stawatello. Kanalizacia, t. 1, Warsawa, Arkady, 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр

Предисловие 3
Введение 5

Раздел первый. **Системы и схемы канализации**

Глава I. Классификация сточных вод и систем канализации 10
§ 1. Назначение канализации и классификация сточных вод 10
§ 2. Системы канализации 12
Глава II. Схемы канализации 13
§ 3. Канализация и ее основные сооружения 13
§ 4. Схемы канализации населенных пунктов и промышленных предприятий 17
§ 5. Районные (региональные) схемы канализации 19
Глава III. Выбор системы и разработка схемы канализации 20
§ 6. Сравнительная оценка систем канализации 20
§ 7. Выбор системы канализации 22
§ 8. Условия приема сточных вод в канализационные сети 24
§ 9. Использование канализационной сети для сплава снега, жидких и измельченных отбросов 27

Раздел второй. **Расчет систем канализации**

Глава IV. Расчетные данные для определения количества сточных вод 28
§ 10. Расчетное население 28
§ 11. Нормы водоотведения 29
§ 12. Коэффициенты неравномерности водоотведения 30
Глава V. Расчетные расходы сточных вод 31
§ 13. Определение расчетных расходов сточных вод 31
§ 14. Графики колебаний расходов (притока) сточных вод 33
§ 15. Суммарные расходы сточных вод 35

Раздел третий. **Канализационные сети и сооружения на них**

Глава VI. Гидравлический расчет канализационной сети 37
§ 16. Формы поперечных сечений труб и коллекторов и их гидравлическая характеристика 37
§ 17. Минимальные диаметры и степень наполнения труб 39
§ 18. Режим течения сточных вод в наружной канализационной сети . . . 40
§ 19. Формулы для гидравлического расчета канализационной сети 44
§ 20. Расчетные скорости движения сточных вод и минимальные уклоны . 46
§ 21. Приемы расчета безнапорных канализационных сетей 48
§ 22. Расчет местных сопротивлений в канализационной сети 51
§ 23. Гидравлический расчет напорных трубопроводов 52

Глава VII. Проектирование наружной канализационной сети 53
§ 24. Принципы проектирования, трассировки и реконструкции канализационной сети 53
§ 25. Расположение канализационных трубопроводов в поперечном профиле проездов 59
§ 26. Глубина заложения канализационных сетей 62
§ 27. Определение расходов для расчетных участков сети 63
§ 28. Проектирование высотной схемы канализационных сетей 66
§ 29. Конструирование канализационной сети 68

Глава VIII. Трубы и коллекторы, применяемые при строительстве канализационной сети 69
§ 30. Требования, предъявляемые к материалу труб и каналов 69
§ 31. Канализационные трубы 70
§ 32. Коллекторы и каналы 75
§ 33. Соединения труб 78
§ 34. Основания под трубы и коллекторы, укладываемые открытым способом 80

Стр.

Глава IX. Сооружения на канализационной сети 83
§ 35. Смотровые колодцы и соединительные камеры 83
§ 36. Перепадные колодцы 86
§ 37. Дюкеры, переходы и пересечения с трубопроводами 90
Глава X. Строительство канализационной сети 95
§ 38. Разбивка трассы канализационной сети и разработка траншей . . . 95
§ 39. Укладка труб и заделка стыков 98
§ 40. Устройство коллекторов из сборных элементов при открытом и закрытом способе производства работ 98
§ 41. Устройство приточно-вытяжной вентиляции канализационной сети . . 104
§ 42. Защита трубопроводов от агрессивного действия газов, сточных и грунтовых вод 105
§ 43. Гидравлическое испытание трубопроводов 106
§ 44. *Устройство канализационной сети в особых условиях* 108
Глава XI. Техническая эксплуатация канализационной сети 112
§ 46. Организация службы эксплуатации 112
§ 46. Приемка канализационной сети в эксплуатацию 114
§ 47. Наблюдения за канализационной сетью 115
§ 48. Прочистка канализационной сети 115
§ 49. Ремонт канализационной сети 121
§ 50. Техника безопасности 121
Глава XII. Перекачка сточных вод 122
§ 51. Главные и районные насосные станции 122
§ 52. Определение притока и откачки сточных вод 128
§ 53. Приемные резервуары 130
§ 54. Напорные трубопроводы (водоводы) 133
§ 55. Аварийные выпуски 136
§ 56. Типы насосных станций 136
§ 57. Перекачка малых объемов сточных вод 143
§ 58. Определение экономических показателей работы насосных станций . . 143
Глава XIII. Дождевая канализация (водостоки) 145
§ 59. Наружные и внутренние водостоки 145
§ 60 Измерение объема атмосферных осадков 146
§ 61. Продолжительность, интенсивность и повторяемость дождей. Период однократного переполнения сети 147
§ 62. Расшифровка записей выпавших дождей 148
§ 63. Формулы для определения расчетной интенсивности дождя 150
§ 64. Коэффициент стока 154
§ 65. Определение расчетных расходов дождевой воды 156
§ 66. Расчетная продолжительность дождя 157
§ 67. Расчет сети 159
§ 68. Напорный режим работы сети 160
§ 69. Особенности расчета сети общесплавной канализации 161
§ 70. Режим работы ливнеспусков 162
§ 71. Начертание дождевой сети в плане 163
§ 72. Дождеприемники 164
§ 73. Перекачка дождевых вод 165
§ 74. Выпуск дождевых вод 166

Раздел четвертый. **Очистка сточных вод**

Глава XIV. Состав и свойства сточных вод 168

§ 75. Состав сточных вод 168
§ 76. Нерастворенные вещества в сточных водах 169
§ 77. Коллоидные и растворенные вещества в сточных водах 172
§78. *Нитрификация и денитрификация* 174
§ 79 Растворение и потребление кислорода 174
§ 80. Биохимическая и химическая потребность в кислороде 177
§ 81. Определение концентрации загрязнений сточных вод 179
§ 82. Активная реакция сточных вод 180
§ 83. Бактериальные и биологические загрязнения сточных вод 180
§ 84. Относительная стабильность (стойкость) сточных вод 181
§ 85. Использование сточных вод и образующегося при их очистке осадка для удобрений 181
Глава XV. Охрана водоемов от загрязнения сточными водами 182
§ 86. Пути охраны водоемов от загрязнений 182
§ 87. Самоочищение воды в водоеме 186
§ 88. *Условия спуска* сточных вод в водоемы 194
§ 89. Определение необходимой степени очистки сточных вод 199
Глава XVI. Методы очистки сточных вод и схемы очистных станций 205
§ 90. Методы очистки сточных вод и обработки осадка 205
§ 91. Схемы очистных станций 208

Стр.

Глава XVII. Сооружения для механической очистки 215
§ 92. Решетки 215
§ 93. Комбинированные решетки-дробилки 220
§ 94. Песколовки 221
§ 95. Отстойники 234
§ 96. Сооружения для предварительной аэрации и биокоагуляции 260
Глава XVIII. Обработка, обезвреживание и использование осадков 263
§ 97. Характеристика осадков, методы обработки, применяемые сооружения 263
§ 98. Септики 269
§ 99. Двухъярусные отстойники 271
§ 100. Метантенки 277
§ 101. Аэробная стабилизация осадков 291
§ 102. Иловые площадки 292
§ 103. Механическое обезвоживание осадков 297
§ 104. Термическая обработка осадков 305
§ 105. Перекачка осадка 310
Глава XIX. Биологическая очистка сточных вод в естественных условиях . . . 312
§ 106. Методы почвенной очистки сточных вод 312
§ 107. Коммунальные поля орошения и поля фильтрации 315
§ 108. Сельскохозяйственное использование сточных вод и поля орошения на сельскохозяйственных землях 327
§ 109. Биологические пруды 328
Глава XX. Сооружения для биологической очистки сточных вод в искусственно созданных условиях 330
§ 110. Биофильтры 335
§ 111. Аэротенки 353
§ 112. Вторичные отстойники и илоуплотнители 396
Глава XXI. Обеззараживание сточных вод. Сооружения для насыщения очищенных сточных вод кислородом. Выпуск очищенных сточных вод в водоем . . . 406
§ 113. Обеззараживание сточных вод 406
§ 114. Дезинфекция хлорной известью и гипохлоритом кальция 409
§ 115. Дезинфекция хлором, гипохлоритом натрия и озоном 410
§ 116. Контактные резервуары 418
§ 117. Выпуски очищенных сточных вод в водоемы 421
Глава XXII. Общие схемы станций для очистки сточных вод 425
§ 118. Выбор площадки для очистных сооружений и способов очистки сточных вод 425
§ 119. Генеральные планы и схемы высотного расположения очистных сооружений 435
§ 120. Распределительные устройства на очистных сооружениях 442
§ 121. Водомерные устройства на очистных сооружениях 445
Глава XXIII. Эксплуатация очистных сооружений 450
§ 122. Прием сооружений в эксплуатацию 450
§ 123. Пусковой период ввода сооружений в действие 451
§ 124. Методы контроля за работой очистных сооружений. Диспетчеризация и автоматизация 453
§ 125. Характерные нарушения нормальной работы очистных сооружений и меры по их устранению 457
§ 126. Организация обслуживания очистных сооружений 458
§ 127. Контроль за работой сооружений 458
Глава XXIV. Канализование малых населенных пунктов и отдельно расположенных объектов 459
§ 128. Малая канализация 459
§ 129. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод 460
§ 130. Компактные аэрационные установки для биологической очистки сточных вод 466

Раздел пятый. **Канализование промышленных предприятий**

Глава XXV. Системы канализации 475
§ 131. Определение количества, состава, свойств и режима отведения сточных вод 475
§ 132. Использование производственных сточных вод и извлечение из них ценных веществ 483
§ 133. Системы и схемы канализации промышленных предприятий 486
§ 134. Комплексные решения схем водоснабжения и канализации промышленных предприятий и населенных мест 490
§ 135. Особенности устройства и расчета канализационных сетей на промышленных предприятиях 493
§ 136. Насосные станции для перекачки производственных сточных вод . . 498
Глава XXVI. Очистка производственных сточных вод 501
§ 137. Методы очистки 501

Стр.

§ 138 Усреднители 505
§ 139. Механическая очистка производственных сточных вод 509
§ 140. Химическая очистка производственных сточных вод 529
§ 141. Физико-химическая очистка производственных сточных вод 541
§ 142 Биологическая очистка производственных сточных вод 568
Биологическая очистка производственных сточных вод в аэробных условиях 569
Биологическая очистка высококонцентрированных производственных сточных вод в анаэробных условиях с доочисткой аэробным окислением 586
§ 143. Процессы доочистки биологически очищенных производственных сточных вод 590
§ 144. Очистка и ликвидация сточных вод, содержащих особо вредные примеси, обработка осадка 594
Очистка сточных вод, содержащих радиоактивные примеси 594
Очистка сточных вод от ртути 597
Очистка сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ) 598
Очистка сточных вод от производства капролактама 601
Закачка производственных сточных вод в подземные горизонты . . . 602
Обработка осадка 604
§ 145. Схемы канализации и очистки сточных вод некоторых промышленных предприятий 607

Раздел шестой. **Проектирование и изыскания**

Глава XXVII. Проектирование систем канализации 615
§ 146. Стадии проектирования 615
§ 147. Районные и генеральные схемы водоснабжения и канализации . . . 619
§ 148. Изыскания для проектирования 621
Глава XXVIII. Технико-экономическая оценка систем канализации 622
§ 149. Технико-экономическое сравнение вариантов 622
§ 150. Определение эксплуатационных затрат и стоимости отведения и очистки сточных вод 624
Список литературы 628

СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ЯКОВЛЕВ
ЯКОВ АЛЕКСАНДРОВИЧ КАРЕЛИН
АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ ЖУКОВ
СЕРГЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ КОЛОБАНОВ

Канализация

Редакция литературы по инженерному оборудованию
Зав. редакцией И. П. Скворцова
Редакторы Г. А. Лебедева, Р. Л. Черкинская
Мл. редактор А. А. Минаева
Внешнее оформление художника А. А. Бекназарова
Технический редактор В. М Родионова
Корректоры В С. Якунина, Г. А. Кравченко

Сдано в набор 7.I. 1975 г. Подписано к печати 22.VII. 1975 г. Т-12274. Формат 70×108¹/₁₆ д. л. Бумага типографская № 2. 55,30 усл. печ. л. (уч.-изд. 55,59 л.). Тираж 80 000 (I-й завод — 40 000 экз). Изд. № АI-3673 Зак № 11. Цена в переплете № 5 — 2 р. 09 к , в переплете № 7 — 2 р 30 к.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Гор Владимир, ул Победы, д 18-б.

КАНАЛИЗАЦИЯ