

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра комплексных систем водоснабжения

ВОДООТВЕДЕНИЕ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

(часть II)

Очистка сточных вод

**курс лекций для студентов специальности
«Инженерные системы сельскохозяйственного водо-
снабжения, обводнения и водоотведения»**

Краснодар, 2008

УДК 628.3 (075.8)

Рецензент - заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения Кубанского государственного аграрного университета, д.т.н., профессор Е.В. Кузнецов

Курс лекций рассмотрен на заседании кафедры комплексных систем водоснабжения (протокол № 7 от 03.03.2008 г.) и рекомендован к изданию методической комиссией факультета водоснабжения и водоотведения (протокол № 8 от 07.04.2008 г.).

Свистунов Ю.А. Водоотведение и очистка сточных вод (часть II) Очистка сточных вод / Курс лекций для студентов специальности «Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и водоотведения»: - Краснодар: Куб.ГАУ.-2008.- 133 с.

В лекциях рассмотрены конструктивные особенности основных звеньев механической и биологической очистки сточных вод. Рассмотрены современные технологии биохимической очистки и процессы глубокого удаления биогенных веществ из сточных вод.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	5
1.1 Методы очистки сточных вод	5
1.2 Схемы очистных станций.....	6
2 МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД	13
2.1 Решетки.....	13
2.2 Песколовки.....	18
2.3 Отстойники.....	27
3 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	44
3.1 Поля фильтрации.....	44
3.2 Песчано-гравийные фильтры и фильтрующие траншеи	46
3.3 Фильтрующие колодцы	47
3.4 Биологические пруды	48
4 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ИСКУССТВЕННО СОЗДАННЫХ УСЛОВИЯХ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ.....	52
4.1 Теоретические основы метода биофильтрации	52
4.2 Классификация биофильтров.....	55
4.3 Технологические схемы работы биофильтров	57
4.4 Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров	60
4.5 Системы вентиляции биофильтров	62
4.6 Расчет и проектирование биофильтров	63
4.7 Конструирование биофильтров	66
4.8 Методы интенсификации работы биофильтров	69
5. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ	74
5.1 Характеристики активного ила.....	74
5.2 Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках	80
5.3 Конструкции аэротенков	90
5.4 Система аэрации иловых смесей в аэротенках	98
5.5 Принципы расчета аэротенков и систем аэрации	106
5.6 Направления интенсификации работы аэрационных сооружений... ..	113
6 ВТОРИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ И ИЛОУПЛОТНИТЕЛИ.....	118
6.1 Вторичные отстойники.....	118
6.2 Уплотнение илов и осадков сточных вод.....	125
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

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

В зависимости от происхождения сточных вод они могут содержать токсичные вещества и возбудителей различных инфекционных заболеваний. Водохозяйственные системы городов и промышленных предприятий оснащены современными комплексами самотечных и напорных трубопроводов, специальными сооружениями, реализующими отведение, очистку, обезвреживание и использование воды и образующихся осадков. Водоотводящие системы обеспечивают также отведение и очистку дождевых и талых вод. Достижения науки и техники способствуют повышению степени благоустройства городов до уровня требований современной цивилизации.

Строительство водоотводящих систем обусловлено необходимостью обеспечения нормальных жилищно-бытовых условий населения городов и населенных мест и поддержания хорошего состояния окружающей природной среды. Комплексное развитие систем водоотведения с очистными сооружениями обусловлено реализацией установленных норм очистки сточных вод при выпуске их в реку.

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

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

1 МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКА ОСАДКА

1.1 Методы очистки сточных вод

Методы очистки сточных вод можно разделить на механические, физико-химические и биохимические. В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке, возможна последующая утилизация осадков. Если по условиям сброса сточных вод в водоем, требуется более высокая степень очистки, то после сооружений полной биологической очистки сточных вод устраивают сооружения глубокой очистки. В соответствии с «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» сточные воды после очистки перед сбросом в водоем подвергают обеззараживанию с целью уничтожения патогенных микроорганизмов.

Сооружения механической очистки сточных вод предназначены для задержания нерастворенных примесей. К ним относятся решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций.

Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Песколовки служат для выделения примесей минерального состава, главным образом, песка. Отстойники задерживают оседающие и плавающие загрязнения сточных вод.

Для очистки производственных сточных вод, содержащих специфические загрязнения, применяют жироловки, нефтеловушки, масло- и смолоуловители.

Сооружения механической очистки сточных вод являются, предварительной стадией очистки перед биологической очисткой. При механической очистке городских сточных вод задерживается до 60% нерастворенных загрязнений.

Физико-химические методы очистки городских сточных вод, с учетом технико-экономических показателей, используют весьма редко. Эти методы, в основном, применяют для очистки производственных сточных вод.

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

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для них источниками питания. Сооружения биологической очистки условно могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным - поля фильтрации и биологические пруды. В сооружениях второго вида очистка осуществляется в искусственно созданных условиях - в аэротенках и биофильтрах.

Глубокая очистка сточных вод требуется, если в сточной воде после полной биологической очистки перед сбросом в водоем концентрация взвешенных веществ, величина БПК, ХПК превышает ПДК.

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

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

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

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

Осадок из первичных отстойников и уплотненный осадок из вторичных отстойников (активный ил) направляются в метантенки - герметичные резервуары, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо метантенков применяется метод анаэробной стабилизации.

Дальнейшее снижение влажности осадков может достигаться в аппаратах механического действия - на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах.

Иловые площадки устраиваются для обезвоживания в естественных условиях сброженного в метантенках осадка.

1.2 Схемы очистных станций

Выбор методов очистки сточных вод и определение состава сооружений представляет собой сложную технико-экономическую задачу и зависят от многих факторов: расхода сточных вод и мощности водоема, расчета необходимой степени очистки, рельефа местности, характера грунтов, энергетических затрат.

Расчет необходимой степени очистки показывает, какой эффект задержания загрязняющих веществ необходимо достичь на очистных сооружениях.

На сооружениях механической очистки эффект снижения взвешенных веществ составляет 40-60%, что также приводит к снижению величины БПК_{ПОЛН} на 20-40%.

Возможен вариант, когда необходимый эффект очистки обеспечивается только сооружениями механической очистки. Такие очистные станции

могут разрабатываться для поселков городского типа, имеющих водоотводящую систему и расположенных на многоводных реках, при расходе сточных вод не более 10 тыс. м³/сут.

Сооружения биологической очистки обеспечивают снижение показателей загрязнений по взвешенным веществам и по БПК₅ до 15-20 мг/л.

В технологических схемах биологической очистки применяются биофильтры при расходах сточных вод 10-20 тыс. м³/сут, аэротенки - при расходах от 50 тыс. до 2-3 млн. м³/сут.

Если расчет необходимой степени очистки сточных вод определяет более высокий эффект, чем могут обеспечить сооружения биологической очистки, то возникает необходимость глубокой очистки сточных вод. Это может быть глубокая очистка от взвешенных, растворенных органических веществ, биогенных элементов - азота и фосфора. Сооружения глубокой очистки должны соответствовать характеру загрязнений, которые необходимо удалить из сточных вод перед их сбросом в водоём. Например, при глубокой очистке сточных вод от растворенных органических веществ доочистка может осуществляться сорбционными методами, либо деструктивными - при использовании озона. Фильтрация сточных вод обеспечивает снижение взвешенных веществ на 50-80 %.

Технология обработки осадков, образующихся в процессах очистки, определяется в зависимости от их свойств, объемов, наличия площадей.

Если при расчете необходимой степени очистки сточных вод концентрация взвешенных веществ должна быть снижена на 40-50%, а величина показателя БПК_{ПОЛН} - на 20-30%, то можно ограничиться механической очисткой. Состав сооружений принимается по схеме, приведенной на рисунке 1.1. Расход сточных вод при такой схеме составляет не более 10 тыс. м³/сут.

Сточная вода, поступающая на очистную станцию, проходит через решетки, песколовки, отстойники и обеззараживается хлором.

Отбросы с решеток направляются в дробилку и в виде пульпы сбрасываются в канал перед решеткой. Возможен вариант вывоза отбросов на полигон. Осадок из песколовок перекачивается на песковые площадки. Из отстойников осадок направляется в метантенки с целью окисления органических веществ. Для обезвоживания сброженного осадка используются иловые площадки, дренажная вода с этих площадок перекачивается в канал перед контактными резервуарами.

При больших расходах сточных вод - от 50 тыс. м³/сут до 2-3 млн. м³/сут и более применяется технологическая схема, приведенная на рисунке 1.2. Механическая очистка сточных вод производится на решетках, в песколовках и отстойниках. Для интенсификации осаждения взвешенных веществ перед первичными отстойниками могут использоваться преаэраторы, в которые подается часть избыточного активного ила в качестве биофлокулятора. Сырой осадок из первичных отстойников направляется в метантенки.

Биологическая очистка сточных вод по этой схеме осуществляется в аэротенке. Аэротенк представляет собой открытый резервуар, в котором находится смесь активного ила и осветленной сточной воды.

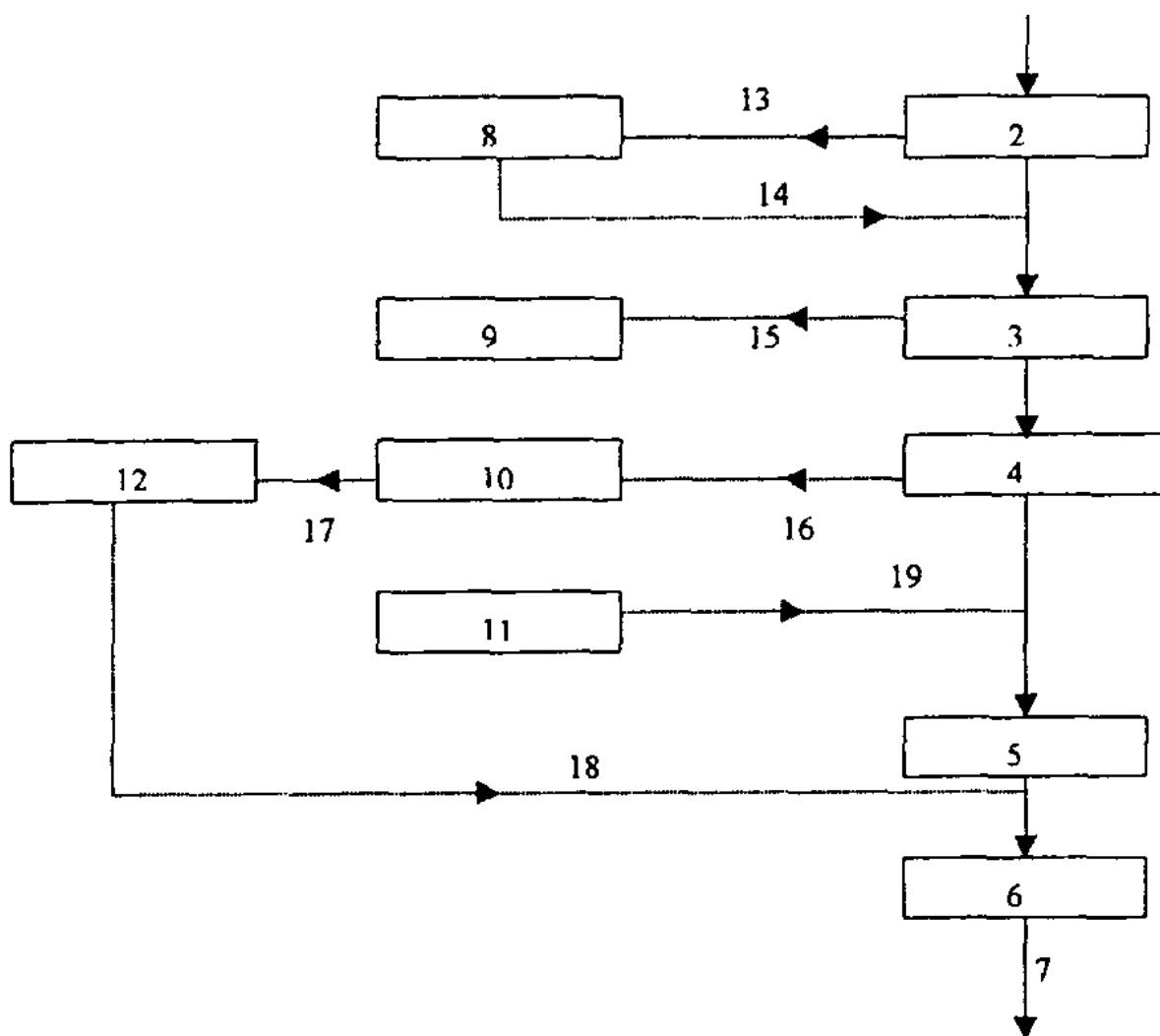


Рисунок 1.1 - Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод: 1 - сточная вода; 2 - решетки; 3 - песколовки; 4 - отстойники; 5 - смесители; 6 - контактный резервуар; 7 - выпуск; 8 - дробилки; 9 - песковые площадки; 10 - метантенки; 11 - хлораторная; 12 - иловые площадки; 13 - отбросы; 14 - пульпа; 15 - песчаная пульпа; 16 - сырой осадок; 17 - сброженный осадок; 18 - дренажная вода; 19 - хлорная вода

Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила в аэротенк подается воздуходувками воздух. Смесь очищенной сточной воды и активного ила из аэротенка направляется во вторичный отстойник, где осаждаются активный ил и основная его масса возвращается в аэротенк. В системе аэротенк - вторичный отстойник масса активного ила увеличивается за счет его прироста, поэтому избыточный активный ил удаляется из вторичного отстойника и подается в илоуплотнитель, где объем ила уменьшается в 4-6 раз, а уплотненный избыточный ил перекачивается в метантенк. Очищенная сточная вода обеззараживается в контактном резервуаре и сбрасывается в водоем. Сброженный осадок из метантенков направляется для механического обезвоживания на вакуум-фильтры или фильтр-прессы. Обезвоженный осадок подвергается термической сушке и используется в качестве удобрения.

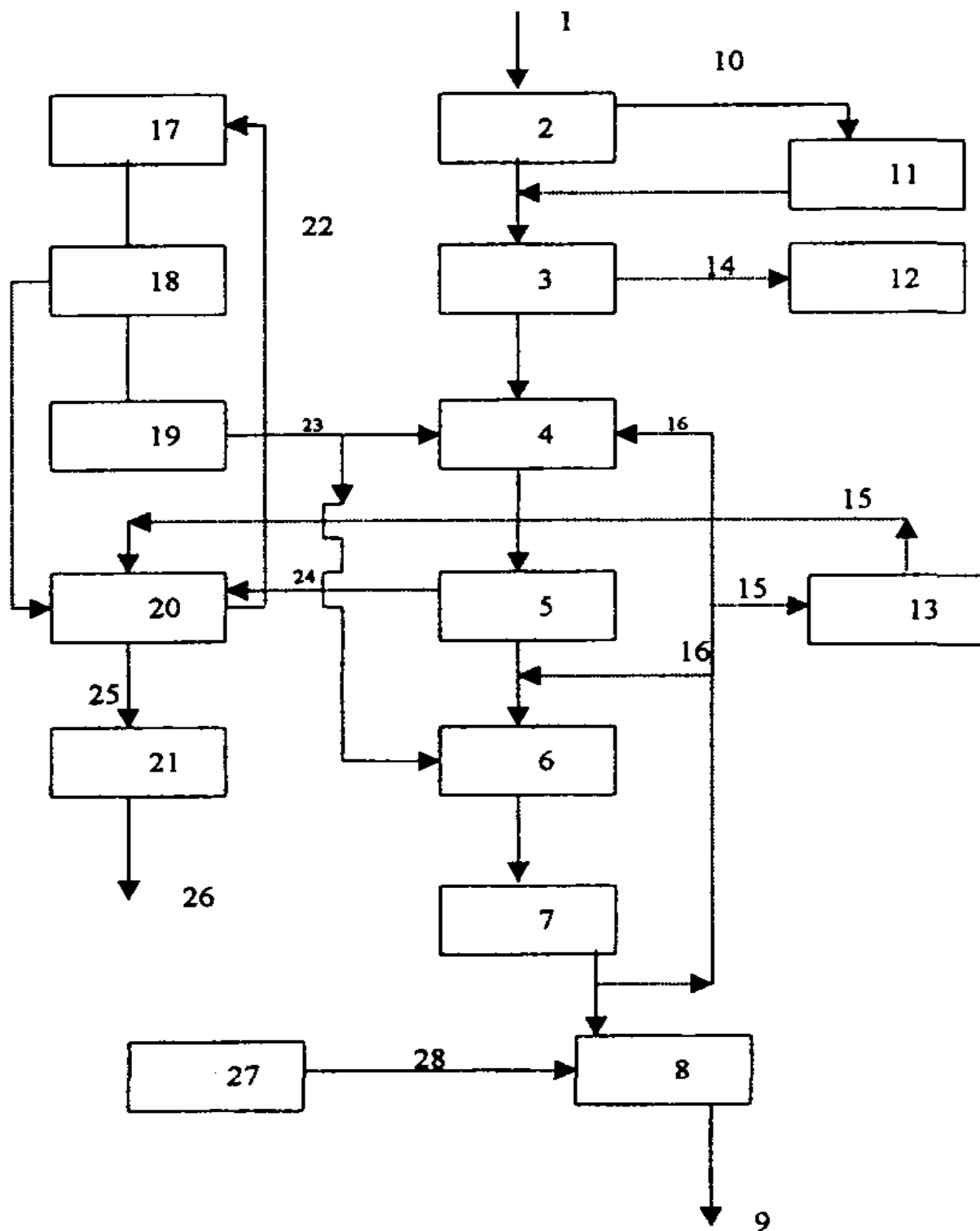


Рисунок 1.2 - Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках: 1 - сточная вода; 2 - решетки; 3 - песколовки; 4 - преаэраторы; 5 - первичные отстойники; 6 - аэротенки; 7 - вторичные отстойники; 8 - контактный резервуар; 9 - выпуск; 10 - отбросы; 11 - дробилки; 12 - песковые площадки; 13 - илоуплотнители; 14 - песок; 15 - избыточный активный ил; 16 - циркуляционный активный ил; 17 - газгольдеры; 18 - котельная; 19 - машинное здание; 20 - метантенки; 21 - цех механического обезвоживания сброженного осадка; 22 - газ; 23 - сжатый воздух; 24 - сырой осадок; 25 - сброженный осадок; 26 - на удобрение; 27 - хлораторная установка; 28 - хлорная вода

На рисунке 1.3 приведена технологическая схема биологической очистки сточных вод на биофильтрах. Такие схемы используются для расходов сточных вод порядка 10-20 тыс. м³/сут.

После сооружений механической очистки вода поступает на биофильтры и затем во вторичные отстойники, в которых задерживается биологическая пленка, выносимая водой из биофильтров, далее вода направляется в контактный резервуар, дезинфицируется и сбрасывается в водоем.

Проходя через фильтрующую загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней взвешенные и коллоидные органические вещества, не осевшие в первичных отстойниках, которые создают биопленку, густо заселенную микроорганизмами. Микроорганизмы биопленки окисляют органические вещества и получают необходимую для своей жизнедеятельности энергию. Таким образом, из сточной воды удаляются органические вещества, а в теле биофильтра увеличивается масса биологической пленки. Отработанная и омертвевшая пленка смывается протекающей сточной водой и выносятся из биофильтра.

Физико-химическая очистка городских сточных вод применяется для очистки расходов - 10-20 тыс. м³/сут. На рисунке 1.4 приведена технологическая схема физико-химической очистки сточных вод.

Вода, прошедшая решетки и песколовки, направляется в смеситель, куда в определенных дозах подаются растворы реагентов - минеральных коагулянтов и органических флокулянтов. При введении в сточную воду минеральных коагулянтов образуются оксигидраты металлов, на которых собираются взвешенные, коллоидные и частично растворенные вещества. Флокулянты укрупняют хлопья оксигидратов и улучшают их структурно-механические свойства. После камер хлопьеобразования осадки отделяются от очищенной воды в горизонтальных отстойниках. Для глубокой очистки от взвешенных веществ используются барабанные сетки и двухслойные фильтры или фильтры с восходящим потоком воды. Обеззараженная хлором вода сбрасывается в водоем. Осадок из отстойников уплотняется и обезвоживается на центрифугах.

Приведенные технологические схемы широко распространены как в отечественной, так и зарубежной практике, при этом имеются станции, работающие по измененным схемам. Технологические схемы очистки производственных сточных вод могут решаться при использовании самых разнообразных методов очистки, включая физико-химические методы, биологический метод и т.д. Это зависит от специфики загрязняющих сточные воды веществ, их концентрации и ПДК сброса в городскую канализацию. При разработке технологий очистки производственных сточных вод основной тенденцией должно быть максимальное повторно-оборотное использование очищенных вод на предприятиях. Атмосферные воды с промплощадок могут быть загрязнены такими же веществами, что и производственные, поэтому эти воды с промплощадок очищаются совместно с производственными.

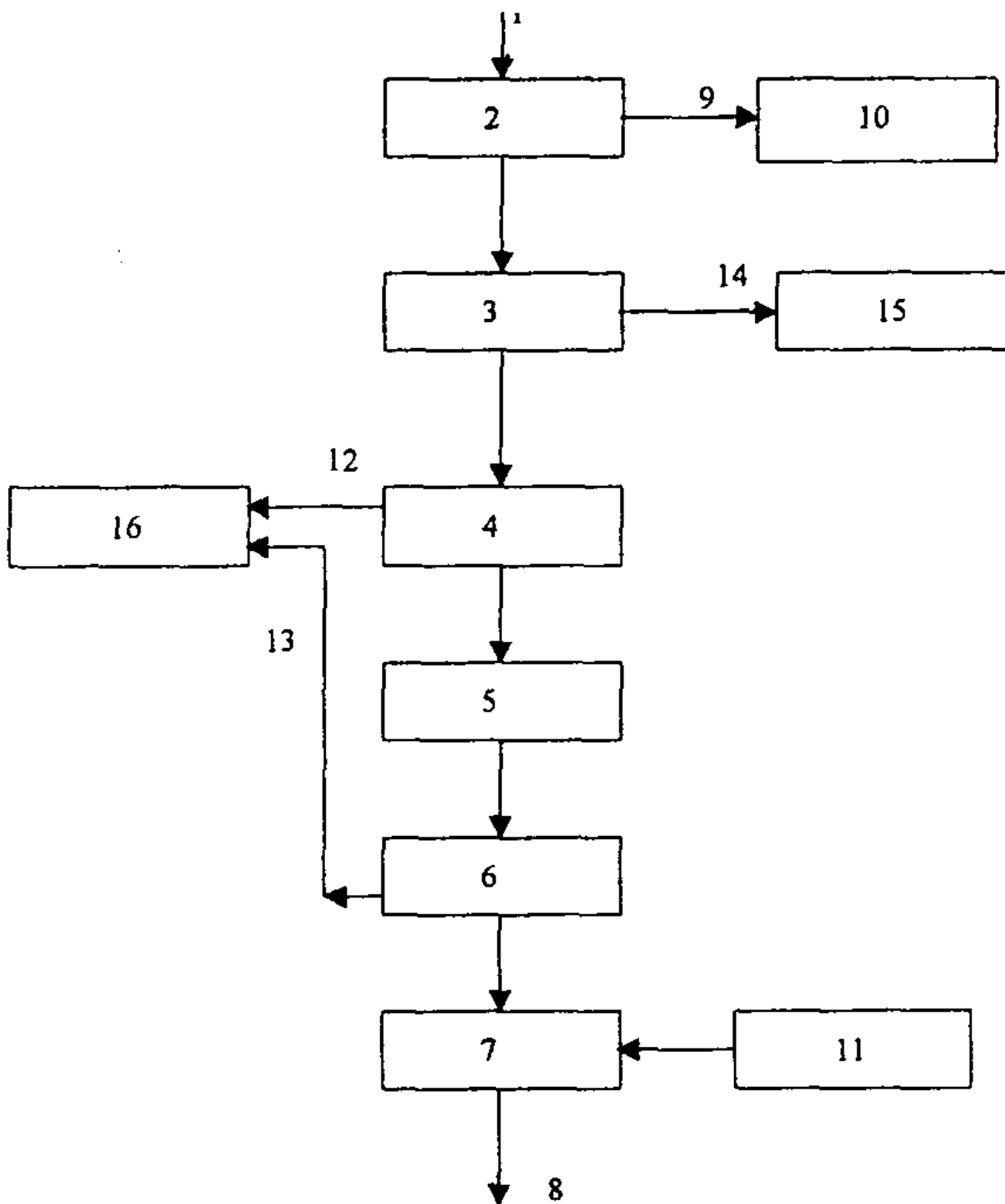


Рисунок 1.3 - Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах: 1 - сточная вода; 2 - решетки; 3 - песколовки; 4 — первичные отстойники; 5 - биофильтры; 6 - вторичные отстойники; 7 - контактный резервуар; 8 - выпуск; 9 - отбросы; 10 - дробилки; 11 - хлораторная установка; 12 - осадок из первичных отстойников; 13 - биопленка из вторичных отстойников; 14 - песок; 15 - бункер песка; 16 - иловые площадки

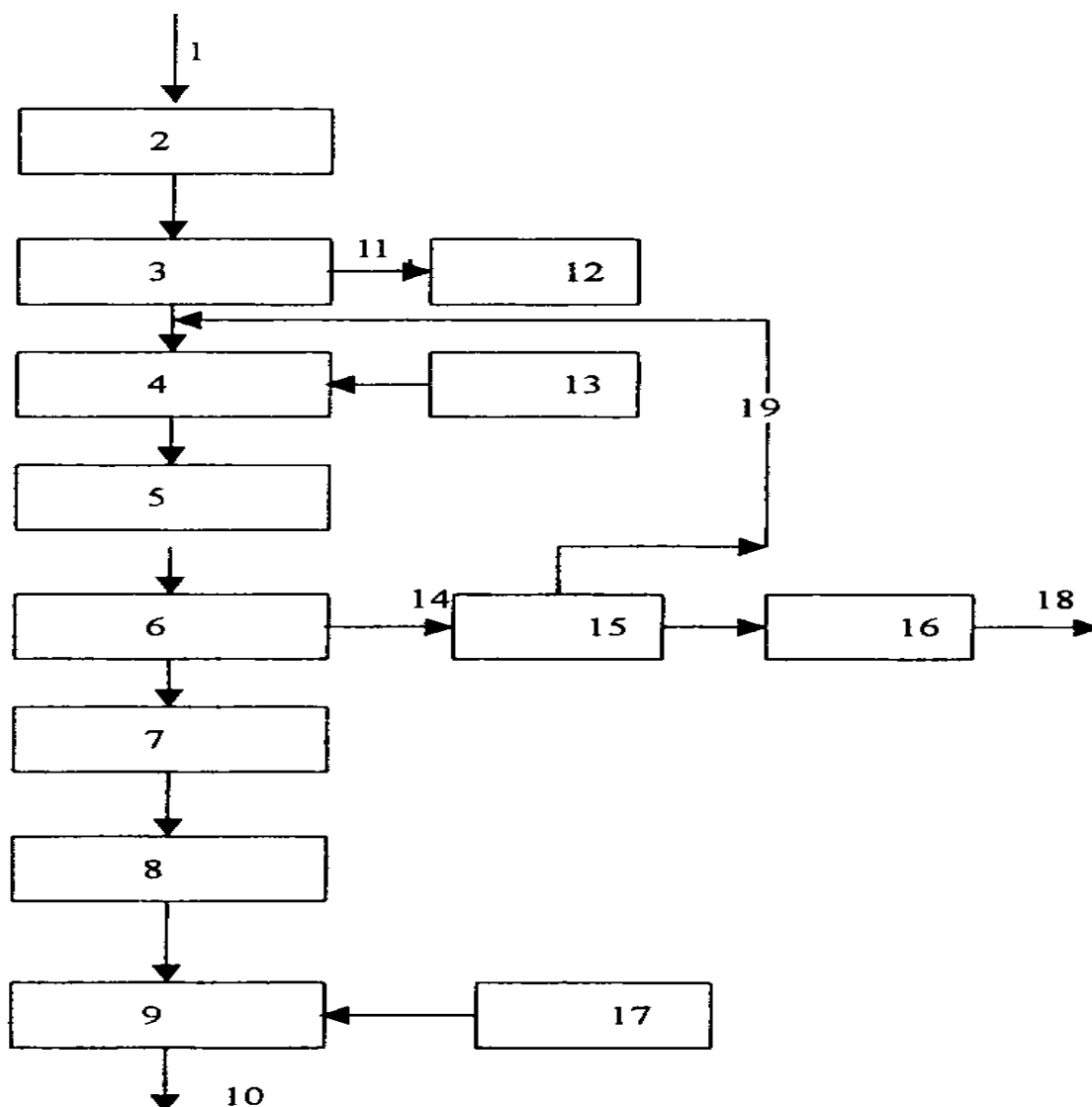


Рисунок 1.4 - Технологическая схема очистной станции с физико-химической очисткой сточных вод: 1 - сточная вода; 2 - решетки; 3 - песколовки; 4 - смеситель; 5 - камера хлопьеобразования; 6 - горизонтальные отстойники; 7 - барабанные сетки; 8 - фильтры; 9 - контактный резервуар; 10 - выпуск в водоем; 11 - песок; 12 - бункер песка; 13 - приготовление и дозирование реагентов; 14 - осадок; 15 - осадкоуплотнители; 16 - центрифуги; 17 - хлораторная; 18 - шлам; 19 - отстоенная вода

Атмосферные сточные воды с территорий городов могут очищаться на отдельных очистных сооружениях при использовании механических методов. За рубежом атмосферные воды очищаются на городских очистных сооружениях совместно с бытовыми сточными водами, однако, и за рубежом в настоящее время определилась тенденция очистки атмосферных вод на автономных очистных сооружениях.

2 МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

2.1 Решетки

Содержащиеся в сточных водах крупноразмерные отбросы, являющиеся отходами хозяйственно-бытовой и производственной деятельности, представляют собой остатки пищи, упаковочные материалы, бумагу, тряпье, санитарно-гигиенические, полимерные и волокнистые материалы. В процессе транспортирования по водоотводящим сетям крупноразмерные отбросы адсорбируют на своей поверхности содержащиеся в сточных водах органические соединения, жиры. Образующийся на поверхности отбросов адгезионный слой способствует налипанию на них значительного количества песка, шлаков и других минеральных частиц. Таким образом, формируются многокомпонентные крупноразмерные органико-минеральные составляющие отбросов, осредненная плотность которых близка к плотности воды, что облегчает последующий пронос песка через песколовки на крупноразмерных загрязнениях, проскакивающих через решетки.

Песок, проносимый на крупноразмерных органических загрязнениях через песколовки, выпадает в осадок в первичных отстойниках, что затрудняет выгрузку осевшего осадка, его перекачку по илопроводам и выгрузку сброженного осадка из метантенков. Кроме того, легкие плавающие отбросы, проходя через отстойники, осложняют работу сооружений доочистки или выносятся с очищенными водами в водоемы, что недопустимо. Анализ приведенных эксплуатационных данных показывает 15-20 - кратное возрастание массы снятых загрязнений с экспериментальных решеток с минимальной шириной прозоров 1,5-2,0 мм, по сравнению с широко распространенными решетками с прозорами 16 мм. Учитывая, что на решетках с прозорами 1,5-2,0 мм задерживаются практически все крупноразмерные загрязнения, массу снятых с них отбросов можно принять за их полное содержание в сточной воде.

Дробленые отбросы направляются для совместной переработки с осадками очистных сооружений. О содержании крупноразмерных загрязнений в сточных водах судят косвенным методом по количеству отбросов, задержанных на решетках с различной шириной прозоров (рисунок 8.1).

Механизированная очистка решеток от отбросов и транспортирование их к дробилкам должны быть предусмотрены при количестве отбросов более 0,1 м³/сут. При меньшем количестве отбросов допускается установка решеток с ручной очисткой.

При обосновании отбросы с решеток допускается собирать в контейнеры с герметически закрывающимися крышками и вывозить в места обработки твердых бытовых и промышленных отходов. Решетки являются первым элементом всех технологических схем очистки сточных вод. Они устанавливаются в уширенных каналах перед песколовками. О классификации решеток в зависимости от их конструктивного решения можно судить по данным, приведенным в таблице 2.1.

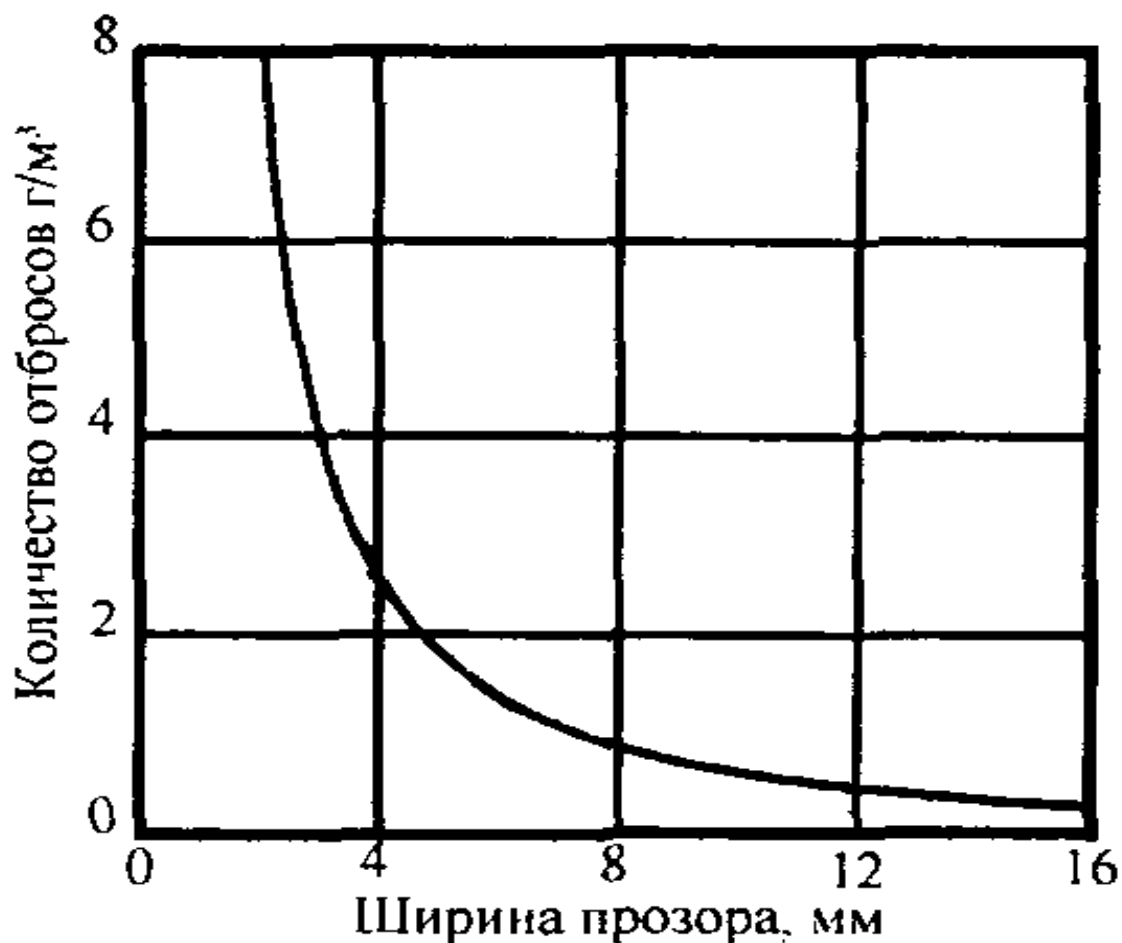


Рисунок 2.1 - Зависимость массы задержанных отбросов от ширины прозоров решетки

В большинстве конструкций решетки выполняют из расположенных параллельно друг другу стальных стержней различного сечения, закрепленных в раме для обеспечения жесткости. Загрязнения, задерживаемые на стержнях при процеживании сточной воды, снимают механическими граблями, которые могут быть расположены перед или после стержней. На рисунке 2.2 приведена схема решетки с тонкими стержнями из высококачественной нержавеющей стали. Клиновидное сечение стержней имеет размеры 4x10 мм. Стержни жестко закреплены в придонной части канала и свободны сверху. Установленные на бесконечном гибком приводе грабли снимают загрязнения со стержней и сбрасывают их на транспортер, расположенный за решетками. Кроме транспортеров применяют также спиральные шнеки и системы гидротранспорта отбросов. Решетки выпускаются с шириной прозоров от 1 до 50 мм и рабочей шириной от 338 до 1200мм.

Размер решеток определяется из условия обеспечения в прозорах скорости движения сточной воды $V_p = 0,8 - 1,0$ м/с при максимальном притоке на очистные сооружения. При скорости более 1,0 м/с уловленные загрязнения продавливаются через решетки. При скорости менее 0,8 м/с в уширенной части канала перед решеткой начинают выпадать в осадок крупные фракции песка и возникает необходимость их удаления.

Таблица 2.1-Характеристика решеток и сит

Параметр	Тип решетки (сита)*						
	МГ	РМН	RS-16	RS-35	РГД	РСФ-0	СЗС
Ширина решетки, мм	2100	2100	1200	1900	1200	1455	3000
Ширина фильтрующей части, мм	810	728; 810	850	1500	950	950	2560
Высота от дна, мм	4500	4500	3300	3500	2500	3252	3000
Длина, мм	2600	2660	1800	1800	1800	1480	6680
Высота выгрузки от пола, мм	900	900	450	450	1500	2070	800
Максимальная глубина канала, мм	3000	3000	1000	3000	1000	1000	4200
Ширина прозоров, мм	16; 12	10; 6	5	3	10	4	1,4
Толщина фильтрующих пластин, мм	10	10	3	3	10	3	
Масса, кг	4500	3750	900	4300	2100	2400	
Максимальный уровень жидкости перед решеткой, мм	2000	2000	600	2000	600	600	3000
Мощность электродвигателя, кВт	1,5	0,75	1,1	4,0	0,85	1,5	1,5

* МГ- механические грабли, РМН - решетки механизированные наклонные, RS - решетка ступенчатая механическая фирмы "MEVA", РГД - решетка дуговая гидравлическая, РСФ-01 - решетка ступенчатая механическая, СЗС - плоское щелевое сито

Для решеток с прозорами шириной b , м, справедливо соотношение:

$$q = \omega V_p = bhnV_p, \text{ м}^3/\text{с}$$

q - максимальный расход сточных вод; ω - площадь живого сечения прозоров всей решетки, м^2 ; h - глубина воды перед решеткой, м; n - число прозоров. Количество прозоров в решетках, необходимых для пропуска поступающих сточных вод, составит:

$$n = qK_{ст} / bhV_p,$$

$K_{ст} = 1,05 - 1,1$ - коэффициент, учитывающий стеснение потока механическими граблями.

Общая ширина решеток равна:

$$B = S(n - 1) + bn, \text{ м}$$

S - толщина стержней.

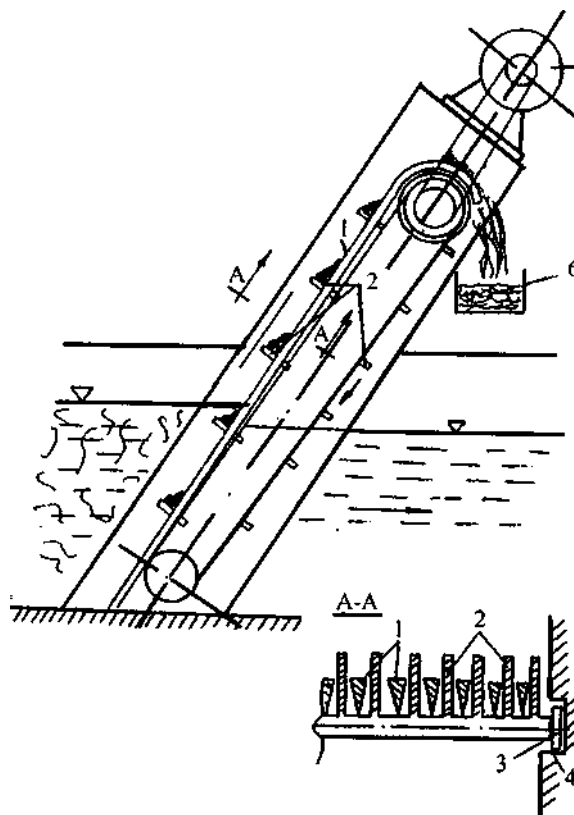


Рисунок 2.2 - Схема решетки фирмы «Джоунс энд Аттвуд» (Великобритания): 1 - профиль стержней; 2 - грабли; 3 - опора грабель; 4 - направляющая опоры грабель; 5 - двигатель; 6 - транспортер

Исходя из общей ширины решеток, подбирают необходимое количество рабочих решеток (таблица 8.1). Дополнительно устанавливают 1-2 резервные решетки и предусматривают устройство обводной линии для пропуска воды в случае аварийного засора решеток.

Решетки размещают в отдельном отапливаемом помещении ($t_{расч.} = 16^{\circ}\text{C}$) с кратностью обмена воздуха 5.

Между решетками для их обслуживания предусматривают проходы не менее 1,2 м. Пол здания располагают не менее, чем на 0,5 м выше расчетного уровня воды в канале.

Для снижения объема отбросов, снимаемых с решеток, целесообразно использовать гидравлические пресс-транспортеры (таблица 2.2).

Работа по совершенствованию существующих технологических схем очистки была продолжена по двум основным направлениям:

- разработка и внедрение сит для фильтрации очищенных сточных вод, в частности, направляемых на доочистку на фильтрах;
- внедрение процеживающего оборудования на осадке первичных отстойников.

Таблица 2.2 - Характеристика транспортеров

Тип и марка пресстраспортера	Производитель	Производительность пресстраспортера, м ³ /ч	Усилие прессования, кгс/см ²	Высота подачи, м	Мощность э/двигателя, кВт
ЧШ 14	Разработка МВК НИИ проект	0,9	80	15	4,0
ГПТ-4М	АКХ им. Памфилова	4,0	100	15	5,5
ПТ.ООО	ЦКБТМ	5,0	80	15	10,0

Плоское щелевое сито (рисунок 2.3), состоит из рамы, в которую вмонтирован процеживающий элемент - плоская щелевая сетка сборной конструкции с прозорами 1,4 мм, и механизма регенерации сетки, состоящего из плоских скребков, закрепленных на 2-х пластинчатых бесконечных цепях, приводимых в движение мотор-редуктором. Задержанный на сетке мусор непрерывно снимается скребками и сбрасывается в сборный контейнер.

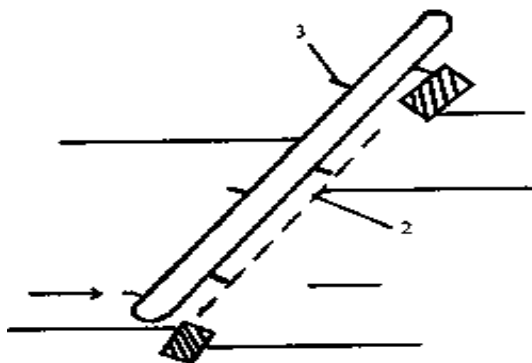


Рисунок 2.3 - Механизированные щелевидные сита

Производительность плоского щелевого сита (333 тыс.м³/сут) в три раза превосходит производительность барабанной сетки (110 тыс.м³/сут), а при работе без подпора со стороны фильтров производительность сита может быть более 400 тыс.м³/сут. Потери напора на плоском сите (максимум 92 мм) значительно меньше, чем на барабанной сетке (300 мм). Регенерация плоской сетки скребками происходит удовлетворительно, засорений и обрастания перемычек волокнистыми материалами не наблюдалось.

Самоочищающиеся решетки ступенчатого принципа действия типа «РОТОСКРИН», широко применяются в зарубежной практике и на некоторых очистных сооружениях в России для процеживания, как сточных вод, так и осадков.

Процеживающая часть этих решеток состоит из двух чередующихся пакетов из параллельных пластин - стационарного и подвижного. Движение, совершаемое подвижными пластинами, приводит к тому, что они поднимают собранные продукты фильтрации на одну ступень вверх. В результате последовательных движений уловленные примеси поднимаются до точки выгруз-

ки и попадают на транспортёр.

Таблица 2.3-Характеристика щелевого сита

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение
Производительность сита:		
-средняя	тыс. м ³ /сут.	333
- максимальная		420
Потери напора:		
- средние	мм	36
- максимальные		92
- минимальные		20
Удельное шламоудержание (по сухому веществу):		
- среднее	г/м ³	0,036
- максимальное		0,079
- минимальное		0,015
Средняя влажность шлама	%	65,6
Средняя зольность шлама	%	4,6

Эффективная очистка стоков от диспергированных примесей достигается как за счет улучшения конструкций решеток, так и совершенствованием технологической схемы очистки. Предполагается размещение перед основными мелкопрозорчатыми решетками решеток грубой очистки, исключающее аварийный пропуск крупноразмерных массивных предметов. Располагающиеся вслед за ними песколовки предназначены для выделения из сточной воды только крупного песка, камней, щебня и гравия, перемещающихся в придонной части потока.

Таким образом, введение дополнительных решеток и песколовок грубой очистки позволит создать наиболее благоприятные условия эксплуатации расположенных за ними мелкопрозорчатых решеток и песколовок, рассчитанных на удержание самых мелких фракций песка (0,07-0,1 мм), что, в свою очередь, обеспечит оптимальные условия удаления осадка из первичных отстойников и его перекачки в метантенки.

2.2 Песколовки

В сточных водах содержится значительное количество нерастворенных минеральных примесей. При совместном выделении минеральных и органических примесей в отстойниках затрудняется удаление осадка и уменьшается его текучесть. Осадок, содержащий песок, плохо транспортируется по трубопроводам, особенно самотечным. Песок накапливается и в метантенках, выводя из работы полезные объемы, предназначенные для сбрасывания органических осадков. Производительность метантенков снижается, а выгрузка песка из них сопряжена с большими трудностями. Возможны затруднения в работе и последующих сооружений в случае попадания в них песка. Поэтому в составе очистных сооружений за решетками проектируются песколовки. Они предназначены для выделения из сточных вод нерастворенных мине-

ральных примесей. Выделение песка в них происходит под действием силы тяжести.

По направлению движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением жидкости; последние на тангенциальные и аэрируемые.

Горизонтальные песколовки представляют собой удлиненные в плане сооружения с прямоугольным поперечным сечением (рисунок 2.4). Элементами песколовки являются: входная часть песколовки, представляющая собой канал, ширина которого равна ширине самой песколовки; выходная часть, представляющая собой канал, ширина которого сужена от ширины песколовки до ширины отводящего канала; бункер для сбора осадка, обычно располагаемый в начале песколовки под днищем. Возможно устройство бункера и над песколовкой.

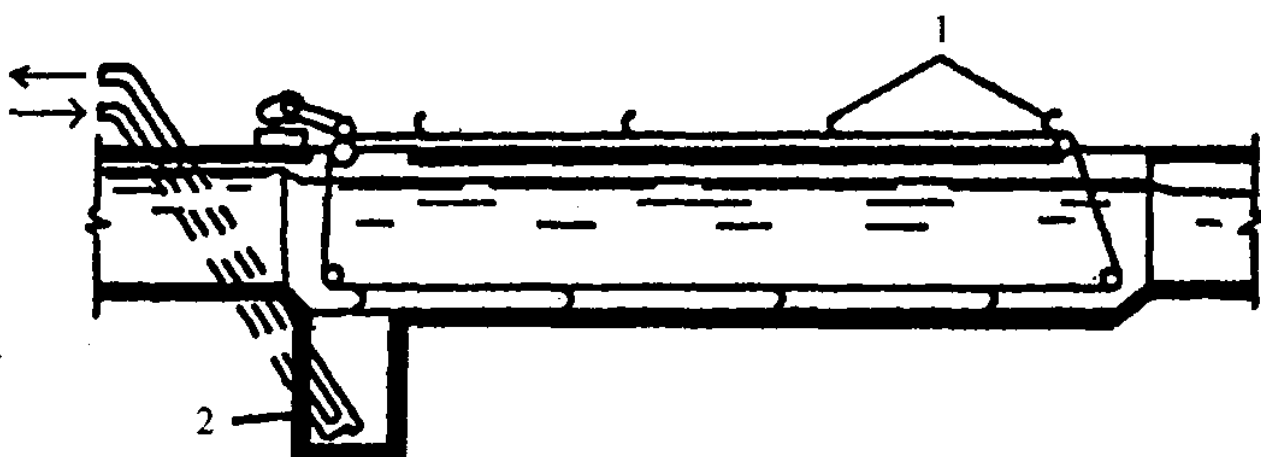
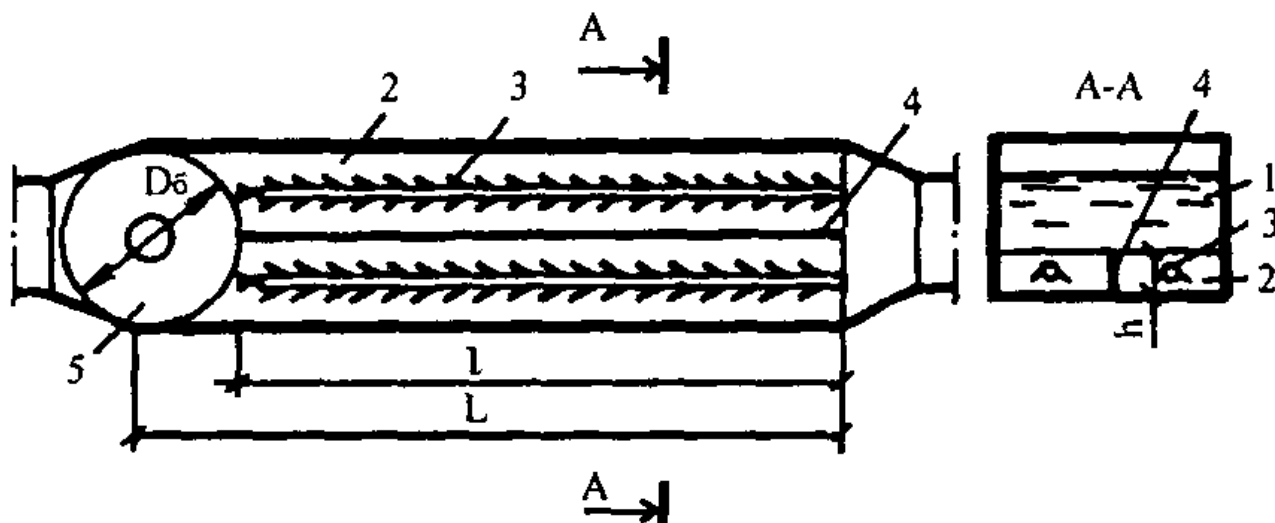


Рисунок 2.4 - Схема горизонтальной песколовки: 1 - цепной скребковый механизм; 2 - гидроэлеватор

Песколовки имеют следующее оборудование: механизм для перемещения осадка в бункер, гидроэлеваторы и насосы для удаления осадка из песколовки и транспорта его к месту обезвоживания или другой обработки. Механизмы применяются двух типов: цепные или тележечные. Цепные механизмы состоят из двух бесконечных цепей, расположенных по краям песколовки, с закрепленными на них скребками. У днища скребки перемещаются в сторону бункера, перемещая при этом осадок. Цепи и скребки над песколовкой перемещаются в ее конец. Механизмы тележечного типа состоят из тележки, перемещаемой над песколовкой по двум рельсам или монорельсу вперед и назад, на которой подвешивается скребок. При возвратном движении скребок поднимается. Осадок в бункеры может перемещаться с помощью гидромеханических систем. Они представляют собой уложенные по днищу в лотках смывные трубопроводы со sprысками, сориентированными в сторону бункеров для сбора осадка. В этом случае бункеры выполняются в виде круглых тангенциальных песколовки. Схема песколовки с гидромеханической системой представлена на рисунке 2.5. При подаче воды в гидромеханическую систему и истечении воды из sprысков осадок у днища разжижается, а затем смывается в сторону бункера. Взмучивание осадка не

происходит, напротив, идет подсос к днищу верхних слоев осадка и последующий смыв их в бункер.

Рисунок 2.5 - Схема горизонтальной песколовки с гидромеханической



системой удаления осадка: 1 - проточная часть песколовки; 2 - песковой лоток; 3 - смывной трубопровод; 4 - перегородка; 5 - песковой бункер

Стремление к упрощению выгрузки осадка из песколовки привело к созданию горизонтальной песколовки с круговым движением воды (рисунок 2.6). Проточная часть песколовки в поперечном сечении имеет в верхней части прямоугольную форму, а в основании - треугольную со щелью внизу. Весь улавливаемый осадок проваливается через щель в осадочную часть, имеющую коническую форму. Для выгрузки осадка достаточно установки гидроэлеватора.

Вертикальные песколовки (рисунок 2.7) имеют цилиндрическую форму, а подвод воды - по касательной с двух сторон в основании. Конусная часть служит для сбора выпавшего осадка. Сбор и отвод воды осуществляет кольцевым лотком. При вертикальном движении воды вверх песок осаждается вниз. Следовательно, скорость восходящего потока жидкости должна быть меньше гидравлической крупности песчинок улавливаемого песка, т.е. $v < U_0$.

Вертикальные песколовки удобны для накопления больших объемов осадка. Их целесообразно применять в полураздельных системах и на станциях очистки поверхностных вод.

Тангенциальные песколовки имеют круглую форму в плане и касательный подвод воды к ним и обеспечивают в песколовках вращательное движение. Оно способствует поддержанию в потоке органических примесей. При этом скорость вращательного движения невелика и не препятствует выпадению песка в осадок. На рисунке 2.8 представлена тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой. В ней интенсифицируется вращательное движение жидкости, что способствует улавливанию песка с минимальным содержанием органических включений.

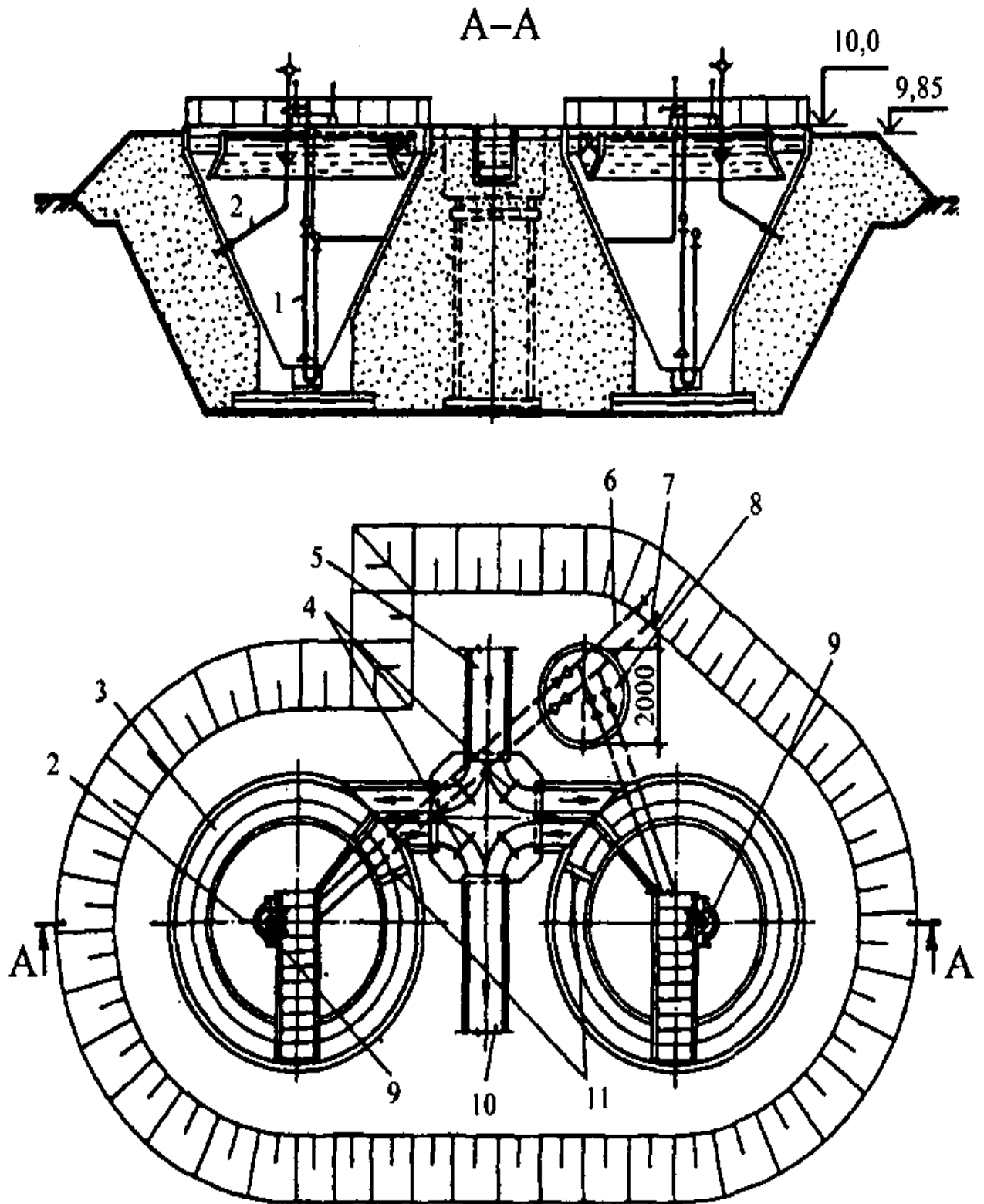


Рисунок 2.6 - Горизонтальная песколовка с круговым движением воды:
 1 - гидроэлеватор; 2 - трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 - желоб; 4 - затворы; 5 - подводящий лоток; 6 - пульпопровод; 7 - трубопровод рабочей жидкости; 8 - камера переключения; 9 - устройство для сбора всплывающих примесей; 10 - отводящий лоток; 11 - полупогружные щиты

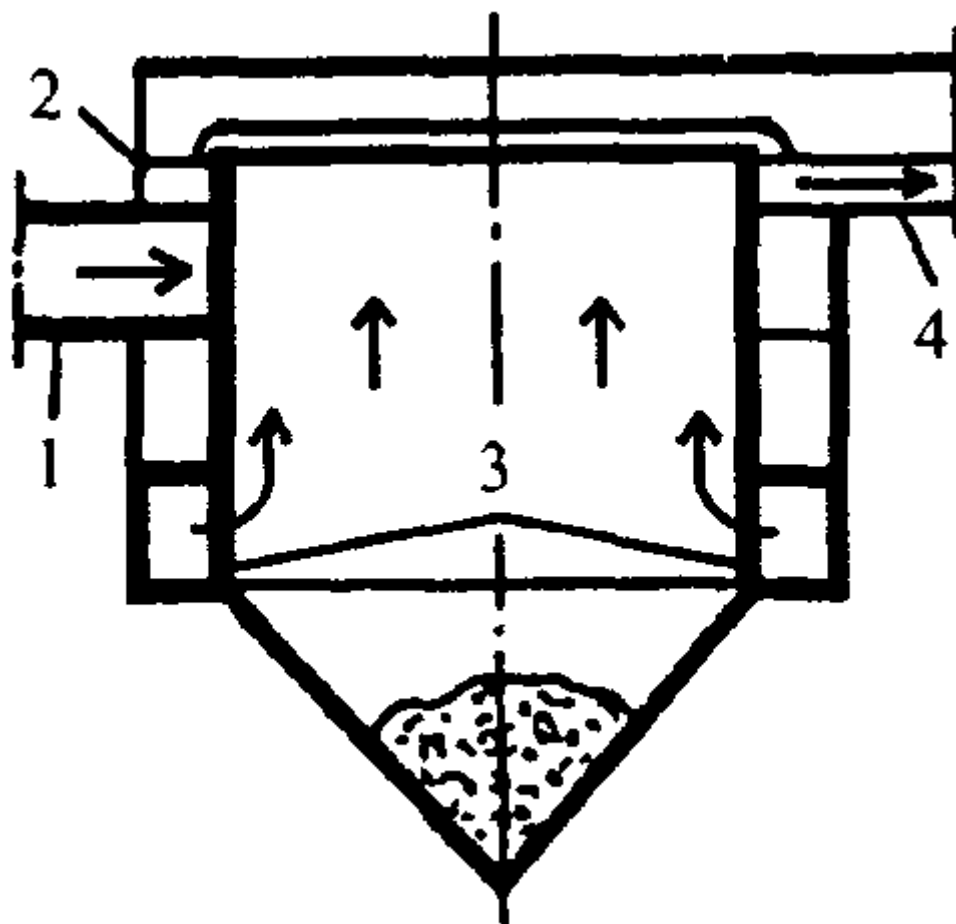


Рисунок 2.7 - Вертикальная песколовка с вращательным движением сточной воды: 1 - подводящий канал; 2 – сборный кольцевой лоток; 3 – ввод воды в рабочую зону; 4 – отводящий канал

Аэрируемые песколовки имеют удлиненную форму в плане и прямоугольное, полигональное или близкое к эллиптическому поперечное сечение. На рисунке 2.9 представлена аэрируемая песколовка с трапециевидальным поперечным сечением. Важнейшие элементы песколовки: входная и выходная части, бункер для сброса осадка и песковой лоток. Последний расположен вдоль одной из продольных стенок сооружения. Днище песколовки в поперечном сечении имеет уклон в сторону лотка. Вдоль одной из стенок на глубине $2/3$ от общей гидравлической глубины расположен аэратор, выполненный из дырчатых труб. Песколовка оборудована гидромеханической системой удаления осадка в бункер, которая представляет собой смывной трубопровод со spryskami, уложенный по днищу пескового лотка

Особенность аэрируемых песколовки заключается в том, что поток очищаемой воды непрерывно аэрируется. Благодаря расположению аэратора вдоль одной из стенок сооружения и над песковым лотком поток приобретает вращательное движение с перемещением его у днища от одной стенки к другой и к песковому лотку. Вращательное движение обеспечивает и концентрацию осадка в песковом лотке, расположенном с одной стороны сооружения. При интенсивности аэрации $3-5 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$ скорость движения воды на периферии потока равна около $0,3 \text{ м/с}$. Продольная скорость движения воды принимается равной $0,02-0,10 \text{ м/с}$.

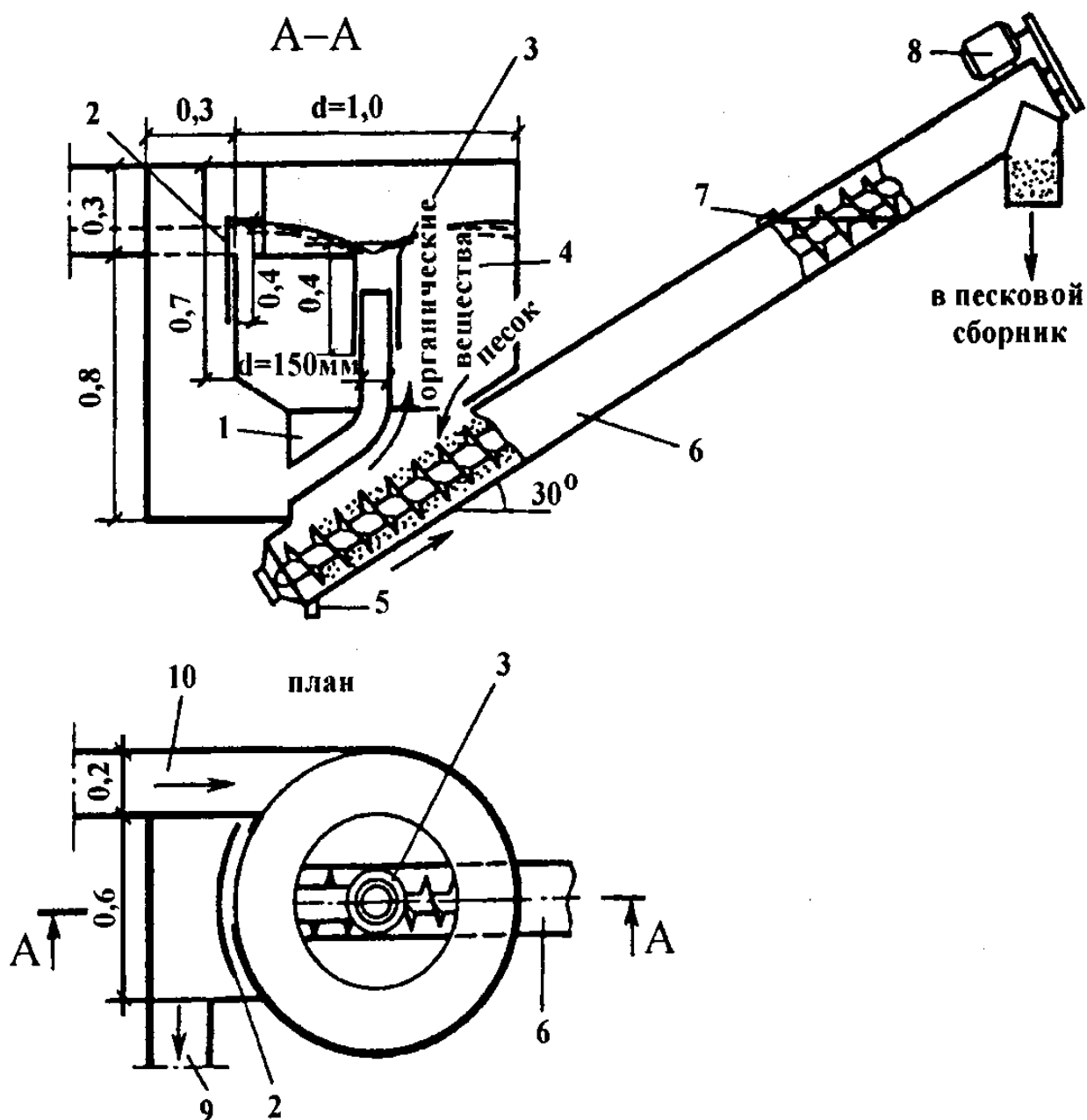


Рисунок 2.8 - Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой: 1 - осадочная часть; 2 - подвижный боковой водослив; 3 - телескопическая труба; 4 - рабочая часть; 5 - заглушка; 6 - шнек; 7 - отверстие для сбора органики; 8 - электропривод; 9 - отводящий лоток; 10 - подающий лоток

Максимальная скорость его на периферии потока равна сумме двух векторов скоростей поступательного и вращательного движений и лишь незначительно превышает скорость вращательного движения - 0,3 м/с, так как она значительно больше поступательной. Даже значительное изменение расхода и поступательной скорости приводит к весьма незначительному изменению максимальной скорости винтового движения, так как вращательная скорость практически не изменяется и всегда превышает скорость поступательного движения. Это обеспечивает поддержание в потоке во взвешенном состоянии органических включений. Аэрируемые песколовки одновременно могут использоваться для улавливания всплывающих загрязнений.

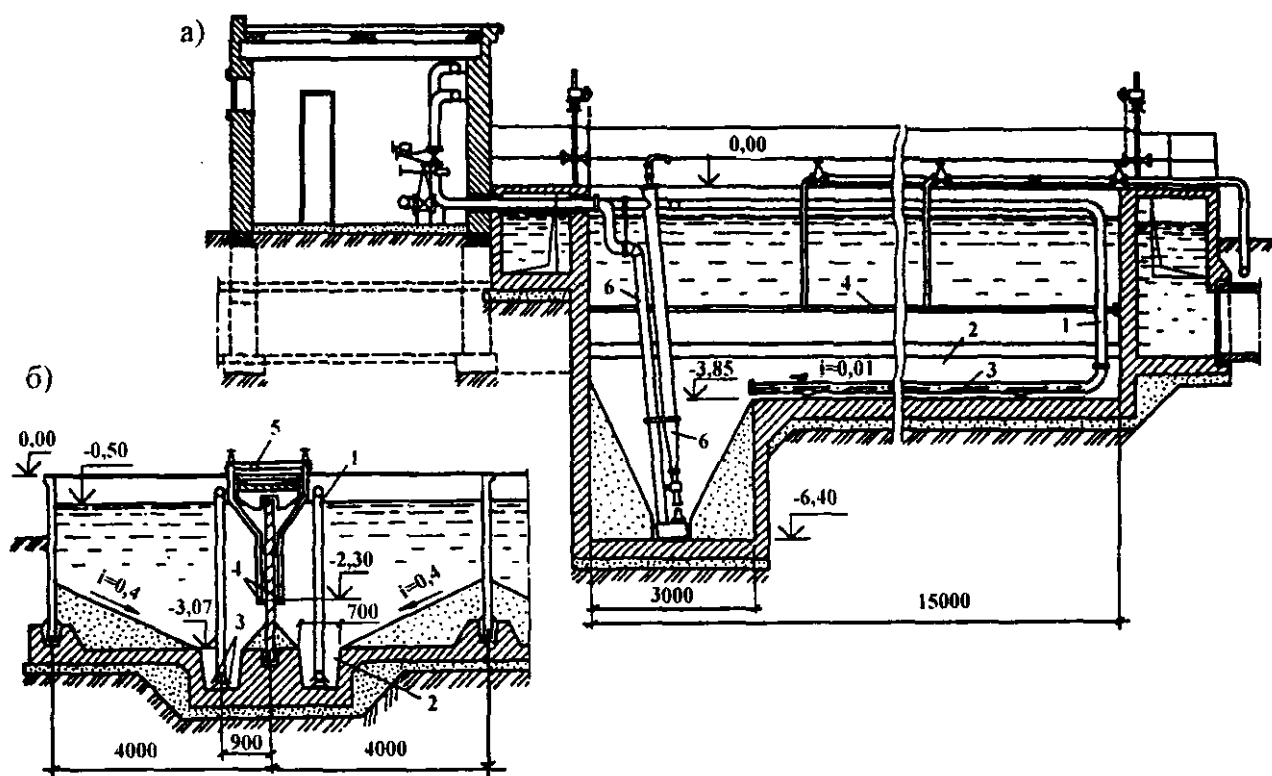


Рисунок 2.9 - Аэрируемая песколовка с гидромеханической системой удаления осадка: а, б - продольный и поперечный разрез соответственно; 1 - трубопровод подачи промывной воды; 2 - песковой лоток; 3 - спрыски; 4 - аэратор; 5 - воздуховод; б – гидроэлеватор

При этом целесообразно вдоль всей песколовки пристраивать специальное отделение для выделения и накопления на поверхности воды всплывающих загрязнений (рисунок 2.10). Оно отделяется от пескоулавливающего отделения полупогруженной решетчатой перегородкой. В этом отделении из практически спокойного потока эффективно отделяются всплывающие загрязнения. Для их удаления отделение оборудуется периодически затопляемым бункером и отводящим трубопроводом. Аэрируемые песколовки можно использовать и как преаэраторы.

Однако, несмотря на значительное разнообразие типов и применяемых конструкций песколовок, проблема полного выделения песка из сточных вод далека от разрешения (таблица 2.4). Во многом это объясняется неудовлетворительной работой решеток и проскоком песка на крупных органических примесях через песколовки, которые традиционно рассчитывались на задержание песка крупностью 0,2-0,25 мм и на предотвращение выпадения в них органики. Оптимальной считалась скорость горизонтального движения сточной воды около 0,3 м/с и время пребывания в песколовке 30-60 сек. Результатом подобного технологического решения являлось неизбежное выпадение песка с органическими примесями в первичных отстойниках.

Таблица 2.4-Эффективность работы различных видов песколовков

Тип песколовков	Содержание песка в исходной сточной воде		Эффективность работы песколовков, %			Зольность осадка из песколовков, %	
	Общее г/м ³	В т.ч., %		Общая	По песку фракций		
		Больше d=0,25 мм	Меньше d=0,25 мм		Больше d=0,25 мм		Меньше d=0,25 мм
Аэрируемые	11,5-22,5	29,0-52,3	44,9-71,0	32,1-63,7	81,1-93,7	9,5-27,0	60,0-86,0 77,6
	16,4	42,7	57,3	47,9	86,7	18,9	
Вертикальные	14,1-25,9	37,7-63,6	36,4-63,3	59,7-79,1	92,3-98,3	33,7-55,9	69,0-87,0 78,3
	18,6	49,7	50,3	69,1	96,2	42,5	
Горизонтальные	19,5-56,3	48,2-77,8	22,2-51,8	74,9-86,3	98,0-98,4	17,0-64,0	74,0-93,0 88,7
	33,7	68,7	31,3	80,7	99,1	43,3	

При расчете песколовков на задержание песка крупностью 0,05-0,1 мм, в них неизбежно задержание легкоосадимой органики, имеющей аналогичную гидравлическую крупность. Поэтому выгружаемый из песколовков осадок следует дополнительно обрабатывать для разделения его минеральной и органической составляющих.

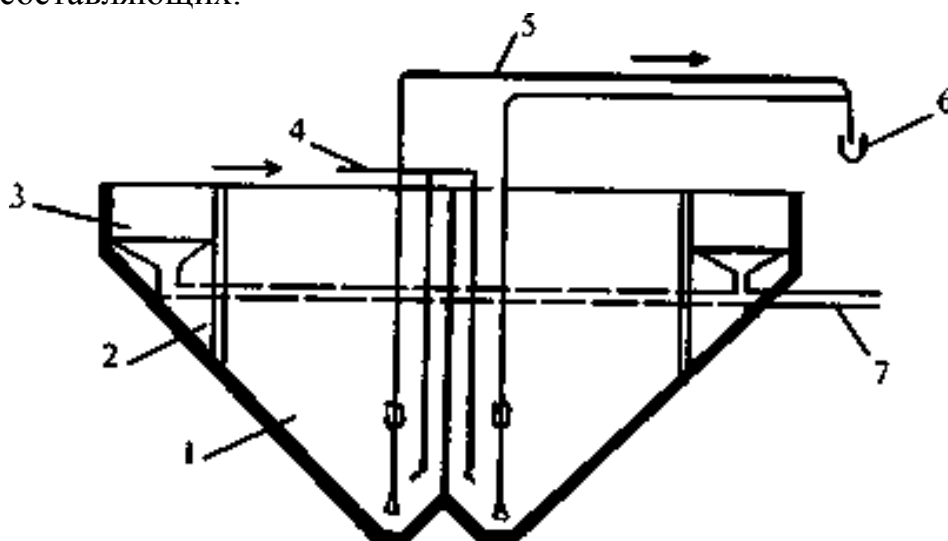


Рисунок 2.10 - Поперечный разрез аэрируемой песколовки с насосом для удаления осадка из пескового лотка: 1 - зона улавливания песка; 2 - щелевидная перегородка; 3 - зона улавливания жира и нефтепродуктов; 4 - подача воздуха; 5 - откачка песка насосом из пескового лотка; 6 - лоток отвода песковой пульпы; 7 - трубопровод отвода жира

Расчет горизонтальных и аэрируемых песколовков заключается в определении размеров их поперечного сечения и длины. Площадь живого сечения одного отделения песколовков составит:

$$F = q_{\max}/vn, \text{ м}^2$$

q_{\max} - максимальный расход сточных вод, м³/с; v - продольная скорость движения воды, принимаемая в зависимости от расчетного диаметра улавливаемых частиц песка (таблица 2.5), м/с; n - количество отделений песколовок.

Длину песколовок определяют по формуле:

$$L = K h_{\max} v / u_0, \text{ м}$$

h_{\max} - максимальная глубина проточной части песколовки, м; u_0 - гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, м/с; K - коэффициент, учитывающий влияние турбулентного потока.

Величина K определяется по формуле:

$$K = u_0 / (u_0^2 - \omega^2)^{0,5},$$

$\omega = 0,05 v$ - вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости.

Расчет вертикальных и тангенциальных песколовок производится из условия задержания частиц с расчетной гидравлической крупностью $v < u_0$. Площадь зеркала песколовки в плане составит:

$$F_{\text{план}} = q_{\max} / u_0 n, \text{ м}^2$$

n - количество песколовок.

Высота цилиндрической части песколовки составит:

$$h_{\text{ц}} = t v,$$

$v = u_0$; $t = 120-180$ с - продолжительность пребывания воды в песколовке.

В песколовках стенки песковых бункеров выполняют под углом 60° к горизонту для обеспечения сползания осадка при его откачке, которая осуществляется гидроэлеваторами или песковыми насосами.

Таблица 2.5 - Расчетные параметры песколовок

Диаметр частиц песка, мм	Гидравлическая крупность u_0 , мм	Продольная скорость движения воды в песколовках, м/с	
		горизонтальных	аэрируемых
0,05	2,0	0,1-0,15	0,02-0,05
0,10	5,9	0,1-0,15	0,02-0,05
0,15	13,2	0,15-0,2	0,05-0,1
0,20	18,7	0,15-0,2	0,05-0,1

Откачка осадка из бункеров производится гидроэлеваторами, насосами и эрлифтами. Выгрузка осадка производится не реже 1 раз в сут. Обычно вы-

грузка производится 1 раз в смену (через 7-8 ч). Выгружаемый из песколовок осадок, содержащий значительное количество органики, является опасным с санитарной точки зрения и требует специальной обработки. Для отмывки и обезвоживания песка применяются специальные бункеры (рисунок 2.11), приспособленные для последующей погрузки песка в автотранспорт. Такие бункеры могут выполняться по типу тангенциальных песколовок. На практике чаще используют песковые площадки.

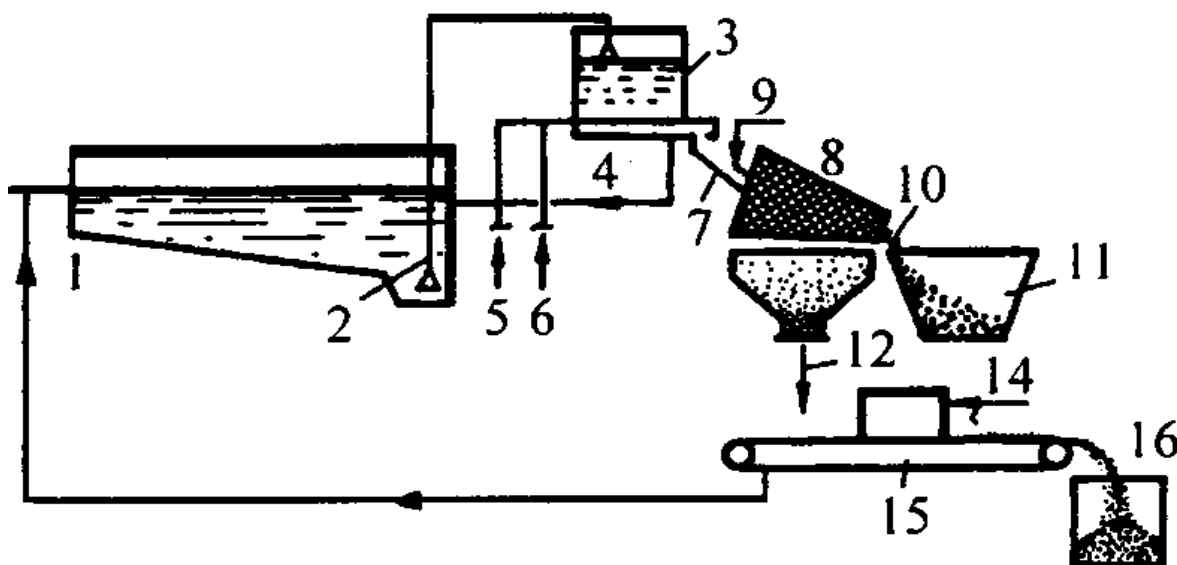


Рисунок 2.11 - Схема узла по обработке осадка из песколовок: 1 – песколовка; 2 – гидроэлеватор; 3 – пескопромыватель; 4 – возврат воды; 5 – промывная вода; 6 – воздух; 7 – осадок в барабанный сепаратор; 8 – барабанный сепаратор; 9 – промывная вода; 10 – органика из сепаратора; 11 – бункер для органики; 12 – песок; 13 – фильтрат; 14 – пропарочная камера для дезинфекции; 15 – ленточный вакуум-фильтр; 16 – обезвоженный песок

2.3 Отстойники

Отстаивание является самым простым, наименее энергоемким и дешевым методом выделения из сточных вод грубодиспергированных примесей с плотностью, отличной от плотности воды. Под действием силы тяжести частицы загрязнений оседают на дно сооружения или всплывают на его поверхность.

Относительная простота отстойных сооружений обуславливает их широкое применение на различных стадиях очистки сточной воды и обработки образующихся осадков. В зависимости от своего назначения и расположения в технологических схемах очистки сточных вод отстойные сооружения подразделяются на следующие: отстойники - первичные, вторичные и третичные; илоуплотнители; осадкоуплотнители.

Классификация отстойных сооружений по основным технологическим и конструктивным признакам приведена на рисунке 2.12.

Первичные отстойники располагаются в технологической схеме очистки сточных вод непосредственно за песколовками и предназначены для

выделения взвешенных веществ из сточной воды, что при достигаемом эффекте осветления 40-60% приводит также к снижению величины БПК в осветленной сточной воде на 20-40% от исходного значения.

Во избежание повышенного прироста избыточного активного ила в аэротенках и биопленки в биофильтрах остаточная концентрация взвешенных веществ в осветленной сточной воде после первичных отстойников не должна превышать 100-150 мг/л. В зависимости от исходной начальной концентрации взвешенных веществ в сточной воде, составляющей 200-500 мг/л, это и обуславливает выбор наиболее рациональной технологии первичного осветления и требуемой продолжительности отстаивания.

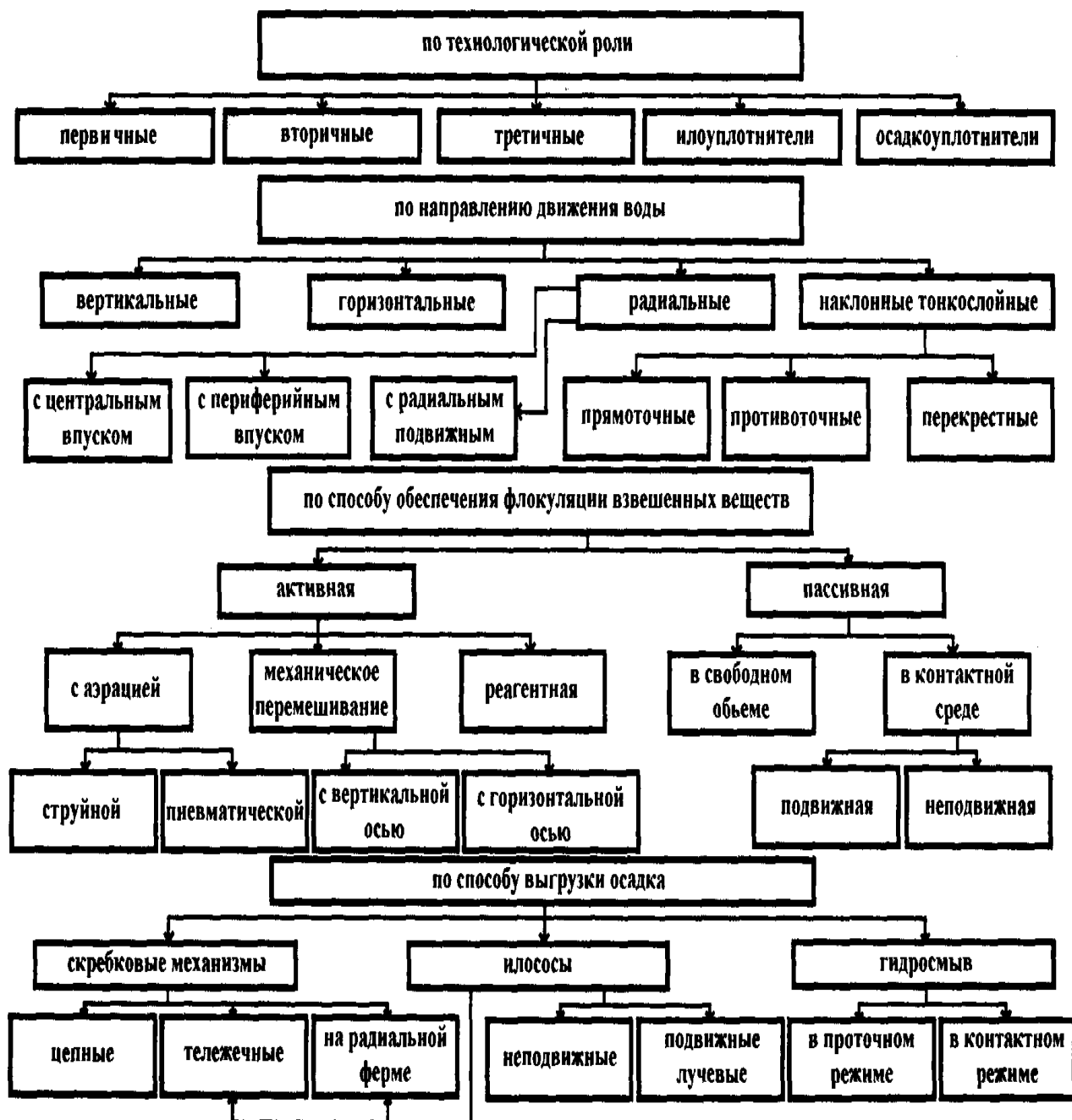


Рисунок 2.12 - Классификация отстойных сооружений

Закономерности процесса первичного осветления сточных вод. Разнообразные условия формирования городских сточных вод, как смеси хозяйственно-бытовых и различных видов производственных стоков обуславливают широкий диапазон изменения дисперсности содержащихся в них взвешенных веществ, их адгезионных свойств и, как следствие, способности их к осаждению.

Скорость одиночного осаждения u , м/с, частиц шарообразной формы в условиях ламинарного режима их обтекания жидкостью ($Re < 2$) описывается известной формулой Стокса:

$$u = d^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})g / 18\eta,$$

d - диаметр частицы, м; $\rho_{\text{ч}}$ - плотность частицы, кг/м³; $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с², η - динамическая вязкость воды, Па·с.

Одиночное осаждение частиц возможно лишь в монодисперсной, агрегативно-устойчивой системе, когда частицы имеют одинаковые размеры и при осаждении не меняют своей формы и размеров. Однако взвешенные вещества, содержащиеся в городских сточных водах, имеющие преимущественно органическое происхождение, представляют собой полидисперсную агрегативно-неустойчивую систему с большим диапазоном изменения размеров частиц, обладающих хорошими адгезионными свойствами, что обуславливает их агломерацию при взаимных столкновениях в процессе осаждения, что изменяет форму, размеры, плотность и скорость осаждения частиц полидисперсного состава.

Различают агломерацию частиц в условиях перикинетической (или диффузионной) коагуляции и ортокинетической (или гравитационной) флокуляции.

Кинетика процесса перикинетической коагуляции описывается формулой Смолуховского:

$$n_t = n_0(1 + 4\pi D_{\text{мол}} r n_0 t),$$

n_0 - начальная численная концентрация частиц; n_t - конечная концентрация частиц через период времени t ; r - расстояние между центрами агрегирующихся частиц; $D_{\text{мол}}$ - коэффициент молекулярной диффузии, характеризующий интенсивность броуновского движения и частоту столкновения частиц между собой.

Перикинетическая коагуляция наблюдается при снижении потенциала частиц в коллоидных системах, в которых размеры агрегирующихся частиц не превышают 0,1 мкм.

Однако в сточных водах основную массовую концентрацию взвешенных веществ составляют грубо диспергированные частицы с размером 1 - 1000 мкм, для которых определяющей является гравитационная или ортоки-

нетическая флокуляция, обусловленная столкновением частиц различного диаметра вследствие разности скоростей их осаждения.

Частота столкновения частиц полидисперсной взвеси определяется разностью их диаметров d , скоростей осаждения и расстояниями между центрами соседних частиц, что приближенно оценивается формулой:

$$t_{ст} = [\alpha(r_1+r_2)]/(u_1-u_2), с$$

$t_{ст}$ - промежуток времени для столкновения двух соседних частиц со скоростями u_1 и u_2 ; r_1+r_2 - расстояние между центрами соседних частиц; α - коэффициент, учитывающий возможное смещение соседних частиц друг от друга в пространстве.

В практике проектирования и эксплуатации первичных отстойников широкое распространение получило использование зависимостей эффекта осветления сточной воды от продолжительности ее отстаивания. Эффект осветления

$$\mathcal{E}_t = (C_{lg} - C_t)100 / C_{lg}. \%$$

C_t - остаточная концентрация взвешенных веществ после отстаивания в течение t часов; C_{lg} - начальная концентрация взвешенных веществ;

Для описания кинетики эффективности осветления сточных вод широко используют эмпирическое уравнение вида

$$\mathcal{E}_t = (t_{set}/120)^{\alpha/t} \mathcal{E}_{120}, \%$$

α - эмпирический коэффициент, зависящий от концентрации взвешенных веществ, их способности к агломерации и высоты слоя вод, в котором происходит осаждение; \mathcal{E}_{120} - относительное содержание оседающих веществ в сточной воде к общей массе взвешенных веществ; $\mathcal{E}_{120} = (C_{lg} - C_{120}) 100/ C_{lg}$ (здесь C_{120} - остаточное содержание взвешенных веществ после 120 мин отстаивания в покое).

Таблица 2.6-Расчетные параметры первичных отстойников, рекомендованные СНиП

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания t_{set} , с, в слое $h_1 = 500$ мм при концентрации взвешенных веществ, мг/л		
	200	300	400
20	600	540	480
30	960	900	840
40	1440	1200	1080
50	160	800	1500
60	7200	3600	2700
70			7200

При расчете отстойников следует учитывать особенности гидродина-

мического режима движения в них воды, которые зависят от типа применяемого сооружения и определяются в основном условиями входа осветляемой воды в зону осветления, а также условиями сбора осветленной воды и выгрузки образующегося осадка.

Таким образом, в действующих первичных отстойниках условия флокуляции и осаждения взвешенных веществ в потоке движущейся сточной воды существенно отличаются от условий отстаивания в покое. Гидродинамическая характеристика потока осветляемой воды определяется типом и конструкцией отстойного сооружения, скоростями и направлением впуска сточной воды в зону отстаивания (рисунок 2.13), нагрузкой сточных вод на поверхность отстойника и нагрузкой собираемой осветленной воды на единицу длины водослива.

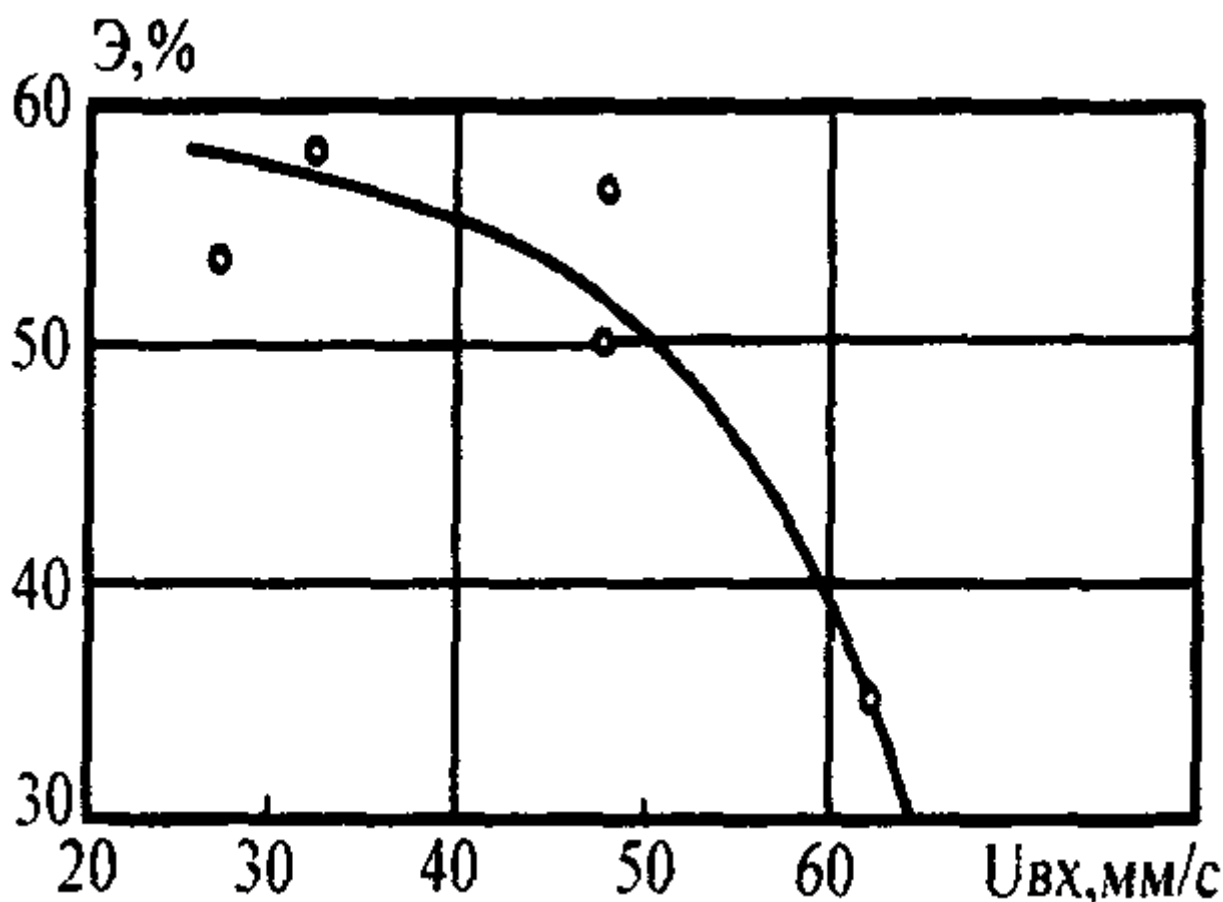


Рисунок 2.13 – Эффективность осветления воды в отстойнике в зависимости от скорости входа в него потока осветляемой воды

В качестве обобщенной характеристики гидродинамического режима потока осветляемой воды применяется коэффициент использования объема проточной части:

$$K_{\text{сет}} = W_{\text{прот}}/W_{\text{общ}} = t_{\text{факт}}/t_{\text{от}}$$

$W_{\text{общ}}$ – общий объем зоны отстаивания; $W_{\text{прот}}$ – объем проточной зоны; $t_{\text{факт}}$ и $t_{\text{от}}$ – соответственно расчетная и фактическая продолжительность отстаивания.

Достоинствами горизонтальных отстойников являются их относительно высокий коэффициент использования объема и достигаемый эффект осветления воды по взвешенным веществам - 50-60%; возможность их компактного расположения и сочленения с аэротенками.

Использование в типовых проектах сооружений унифицированной ширины 6 и 9 м стеновых панелей позволяет проектировать горизонтальные отстойники с шириной, равной ширине аэротенков, и объединять эти сооружения в секции.

Недостатком горизонтальных отстойников является неудовлетворительная надежность работы используемых в них механизмов для сгребания осадка тележечного или цепного типа, особенно в зимний период. Кроме того, горизонтальные отстойники как прямоугольные сооружения при прочих равных условиях имеют более высокий (на 30-40%) расход железобетона на единицу строительного объема, чем радиальные отстойники.

В практике проектирования горизонтальные первичные отстойники используются на очистных сооружениях пропускной способностью 15-100 тыс. м³/сут.

Вертикальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары с коническим днищем, в которых поток осветляемой воды движется в вертикальном направлении.

В зависимости от типа впускного устройства вертикальные отстойники подразделяются на следующие:

- с центральным впуском воды;
- с нисходяще-восходящим движением воды;
- с периферийным впуском воды.

В вертикальных отстойниках с центральным впуском сточная вода подводится лотком к центральной раструбной трубе, опускаясь по которой вниз, осветляемая вода отражается от конусного отражательного щита и поступает в зону осветления (рисунк 2.15).

В восходящем потоке осветляемой воды происходит флокуляция частиц взвеси, и образующиеся агломерации взвеси, гидравлическая крупность которых u_0 превосходит скорость восходящего вертикального потока $v_{\text{верт}}$, выпадают в осадок. Более мелкая взвесь, для которой $u_0 < v_{\text{верт}}$, выносятся с восходящим потоком воды. Для городских сточных вод скорость восходящего потока составляет 0,5-0,7 мм/с. Осветленная вода собирается периферийным сборным лотком, высота гребня водослива которого определяет уровень воды в отстойнике. Всплывающие вещества жирового состава собираются в центре отстойника кольцевым лотком, из которого отводятся трубопроводом в самотечную иловую сеть.

Выпадающий осадок накапливается в иловой конусной части отстойника, из которой удаляется под гидростатическим напором 1,5-2,0 м через иловую трубу в самотечную иловую сеть. Объем иловой части рассчитывается на двухсуточный объем образующегося осадка. Влажность выгружаемого осадка составляет 95%.

Достоинствами вертикальных первичных отстойников являются простота их конструкции и удобство в эксплуатации; недостатками - большая глубина сооружений, что ограничивает их максимальный диаметр - 9 м, а также невысокая эффективность осветления воды, обычно не превышающая 40% по снятию взвешенных веществ.

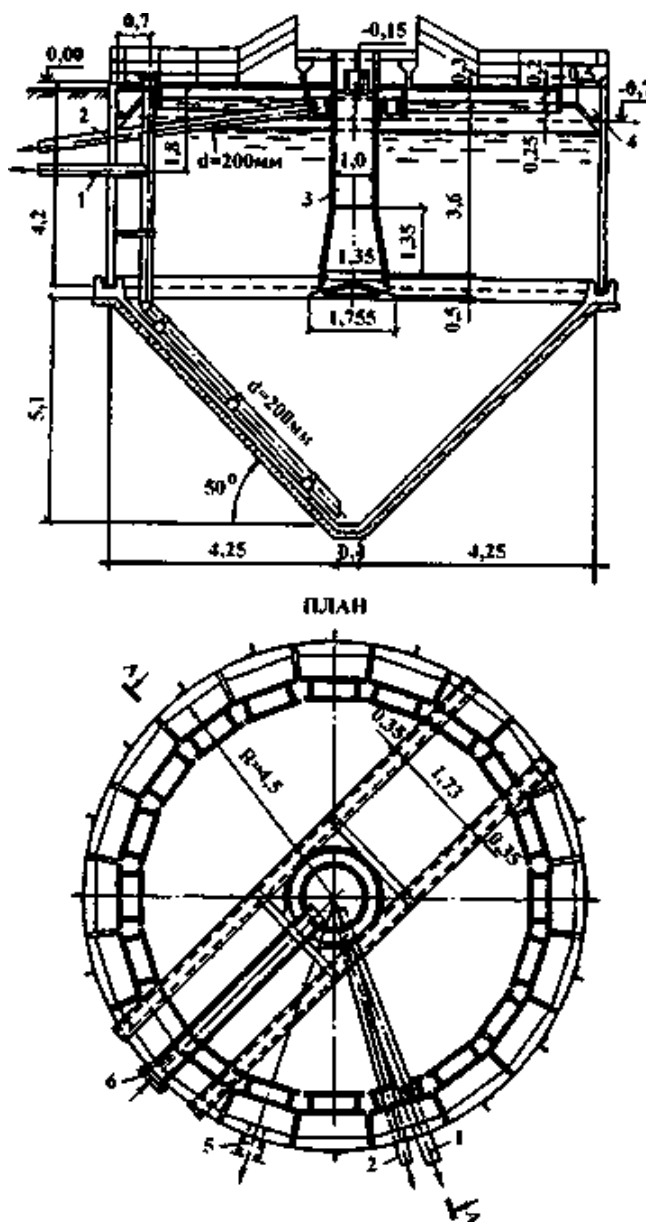


Рисунок 2.15 - Первичный вертикальный отстойник из сборного железобетона: 1 - иловая труба для выпуска осадка; 2 - жиропровод для выпуска всплывающих веществ; 3 - центральная впускная труба с отражателем; 4 - сборный лоток осветленной воды; 5 - отводящий лоток; 6 - подводящий лоток

Более совершенными с технологической точки зрения являются вертикальные отстойники с нисходяще-восходящим потоком осветляемой воды (рисунок 2.16). В отстойнике этого типа зона осветления разделена полупогружной перегородкой на две равные по площади зеркала воды части.

Сточная вода поступает в центральную часть по лотку или трубопроводу и через зубчатый водослив отражательным козырьком распределя-

ется по площади зоны осветления, где происходит нисходящее движение потока осветляемой воды, обеспечивающее лучшее совпадение направлений векторов движения потока воды и выпадения агломерирующейся взвеси, чем в типовых вертикальных отстойниках с центральной распределительной трубой.

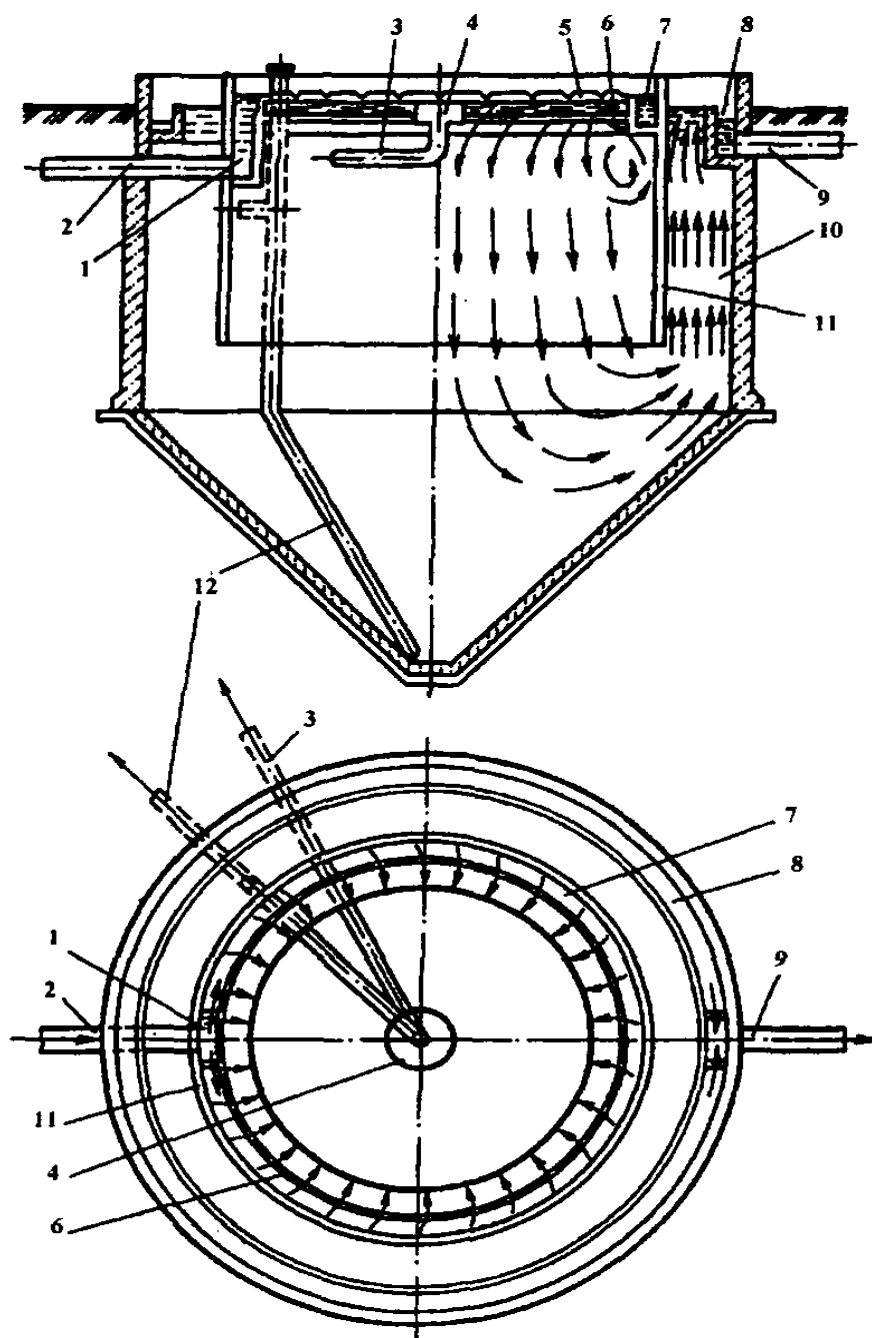


Рисунок 2.16 - Первичный вертикальный отстойник с нисходяще-восходящим потоком: 1 - приемная камера; 2 - подающий трубопровод; 3, 4 - трубопровод и воронка соответственно для удаления плавающих веществ; 5 - зубчатый распределительный водослив; 6 - отражательный козырек; 7 - распределительный лоток; 8 - периферийный сборный лоток осветленной воды; 9 - отводящий трубопровод; 10 - кольцевая зона восходящего движения; 11 - кольцевая перегородка; 12 - трубопровод для выпуска осадка

Основная масса взвешенных веществ успевает выпасть в осадок до поступления потока осветляемой воды в кольцевую зону восходящего движения, где происходит доосветление воды. Коэффициент использования объема в этих отстойниках повышается до 0,65, и эффективность осветления воды по снижению концентрации взвешенных веществ достигает 60-65%.

Осадок под действием гидростатического давления выгружается через центральный илопровод. Всплывающие вещества удаляются из центральной части через приемную воронку и самотечный трубопровод.

Разновидностью вертикальных отстойников являются квадратные в плане (12x12 и 14x14 м) четырехбункерные отстойники с центральным впуском воды и сбором осветленной воды периферийным лотком.

Простота конструкции вертикальных отстойников обусловила их широкое применение на очистных сооружениях средней пропускной способностью 2,0-15,0 тыс. м³/сут.

Радиальные отстойники представляют собой круглые в плане резервуары, в которых сточная вода подается в центр отстойника и движется радиально от центра к периферии (рисунок 2.17). Скорость движения осветляемой воды изменяется от максимальных значений в центре до минимальных на периферии радиального отстойника.

Взвешенные вещества, выпадающие в осадок из движущегося потока осветляемой воды, перемещаются в иловый приямок скребками, размещенными на вращающейся ферме. На этой же ферме расположено подвесное устройство, сгребавшее всплывающие на поверхность вещества к жиросборнику, из которого они отводятся на перекачку. Частота вращения фермы с илоскребами составляет 2-3 ч⁻¹, привод фермы периферийный с тележкой на пневмоходу. Осадок удаляется с помощью плунжерных и центробежных насосов, что обеспечивает снижение его влажности до 93,0-93,5%. Радиальные первичные отстойники обеспечивают задержание 50-55% взвешенных веществ. Вращающаяся ферма обеспечивает простоту эксплуатации радиальных отстойников.

Типовые проекты радиальных отстойников диаметром 18-50 м позволяют использовать их на очистных сооружениях практически любой пропускной способности, начиная от 20 тыс.м³ в сут.

Достоинства радиальных отстойников обусловили их широкое распространение на очистных сооружениях. Вместе с тем для радиальных отстойников с центральным впуском характерны повышенные градиенты скорости в центральной части, приводящие к уменьшению их коэффициента объемного использования и эффективности осветления.

Обобщенный метод технологического расчета первичных отстойников заключается в выборе типа и необходимого числа типовых сооружений, обеспечивающих требуемый эффект осветления.

Тип отстойника выбирается с учетом принятой технологической схемы очистки сточных вод и обработки их осадка, производительности сооружений, очередности строительства, числа эксплуатируемых единиц, конфигурации и рельефа площадки, геологических условий, уровня грунтовых вод.

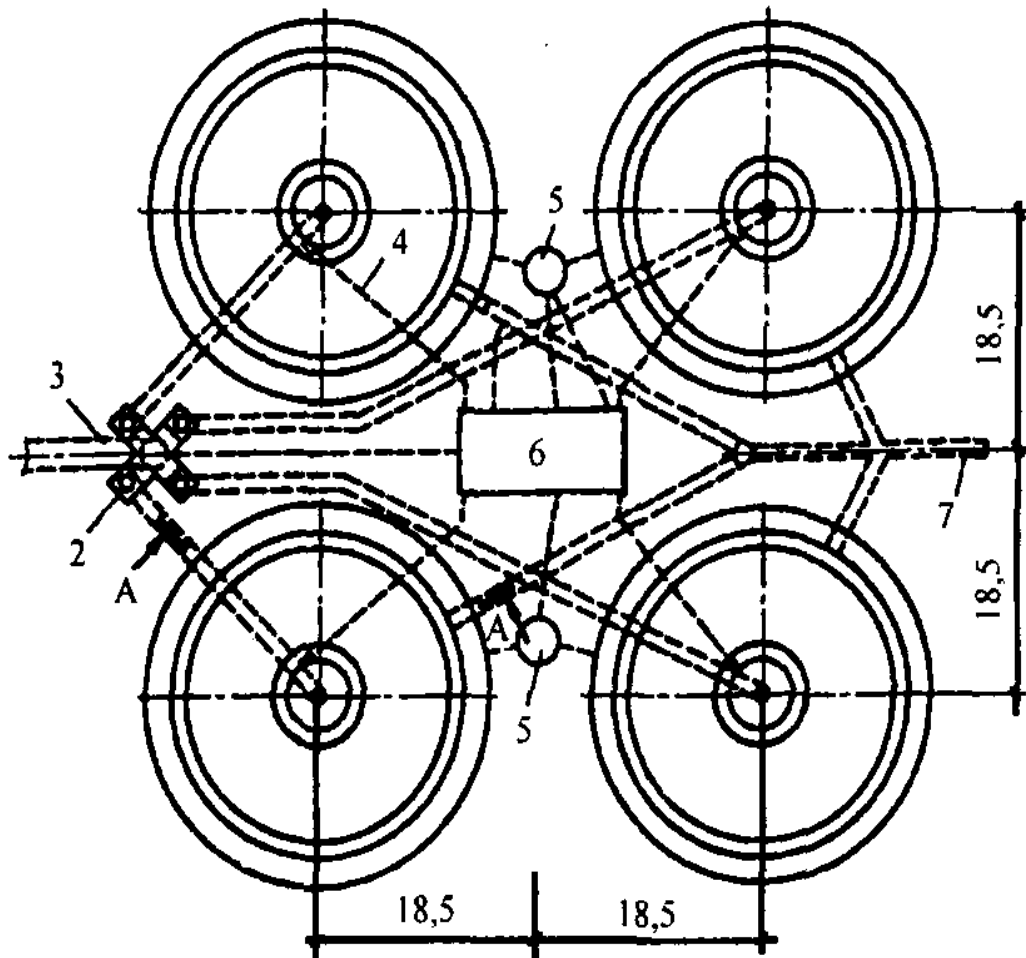
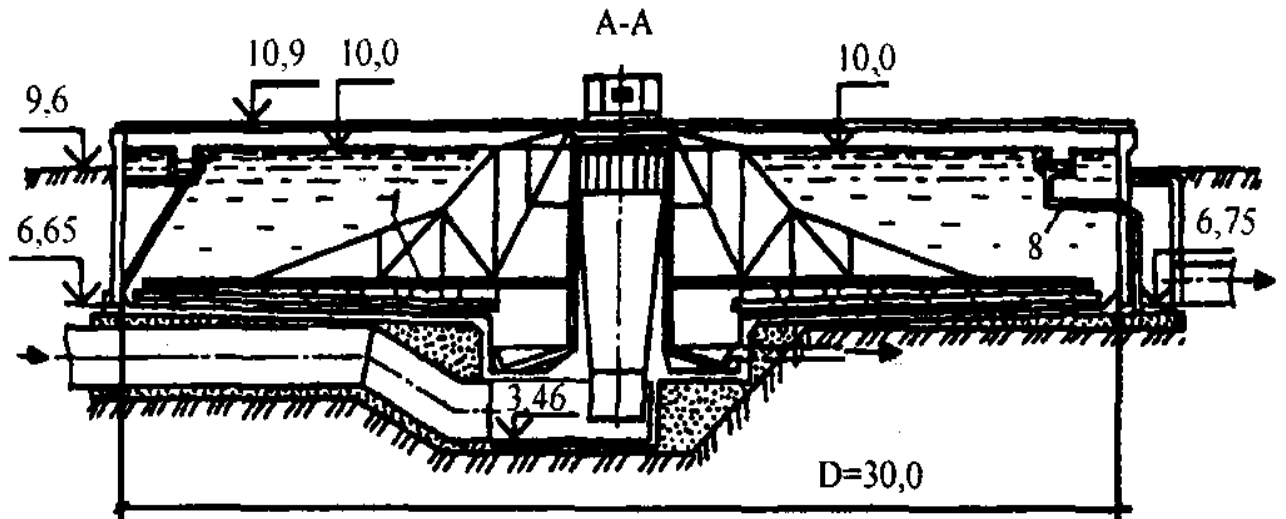


Рисунок 2.17 - Первичные радиальные отстойники: 1 - илоскреб; 2 - распределительная камера; 3 - подводящий трубопровод; 4 - трубопровод выгрузки осадка; 5 - жиросборник; 6 - насосная станция перекачки осадка; 7 - трубопровод отвода осветленной воды; 8 - жиропровод

Число отстойников принимается: первичных - не менее двух, вторичных - не менее трех при условии, что все отстойники являются рабочими. При минимальном числе их расчетный объем необходимо увеличивать в 1,2-1,3 раза.

Расчет отстойников, кроме вторичных после биологической очистки, надлежит производить по кинетике выпадения взвешенных веществ с учетом необходимого эффекта осветления.

Расчетное значение гидравлической крупности u_0 , мм/с, необходимо определять по кривым кинетики отстаивания $\Xi = f(t)$, получаемым экспериментально, с приведением полученной в лабораторных условиях величины к высоте слоя, равной глубине проточной части отстойника, по формуле

$$u_0 = \frac{1000 H_{set} K_{set}}{t_{set} \left(\frac{K_{set} H_{set}}{h_1} \right)^{n_2}},$$

H_{set} - глубина проточной части в отстойнике, м; K_{set} - коэффициент использования объема проточной части отстойника; t_{set} - продолжительность отстаивания, с, соответствующая заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое h_1 ; для городских сточных вод данную величину допускается принимать по таблице 2.7; n_2 - показатель степени, зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения, для городских сточных вод следует определять по рисунку 2.18.

В случае, когда температура сточной воды в производственных условиях отличается от температуры воды, при которой определялась кинетика отстаивания, необходимо вводить поправку

$$u_0^t = \frac{\mu_{lab}}{\mu_{pr}} u_0,$$

μ_{lab} , μ_{pr} - вязкость воды при соответствующих температурах в лабораторных и производственных условиях; u_0 - гидравлическая крупность частиц, мм/с.

Таблица 2.7 – Продолжительность отстаивания

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания t_{set} , с, в слое $h_1 = 500$ мм при концентрации взвешенных веществ, мг/л		
	200	300	400
20	600	540	480
30	960	900	840
40	1440	1200	1080
50	2160	1800	1500
60	7200	3600	2700
70	-	-	7200

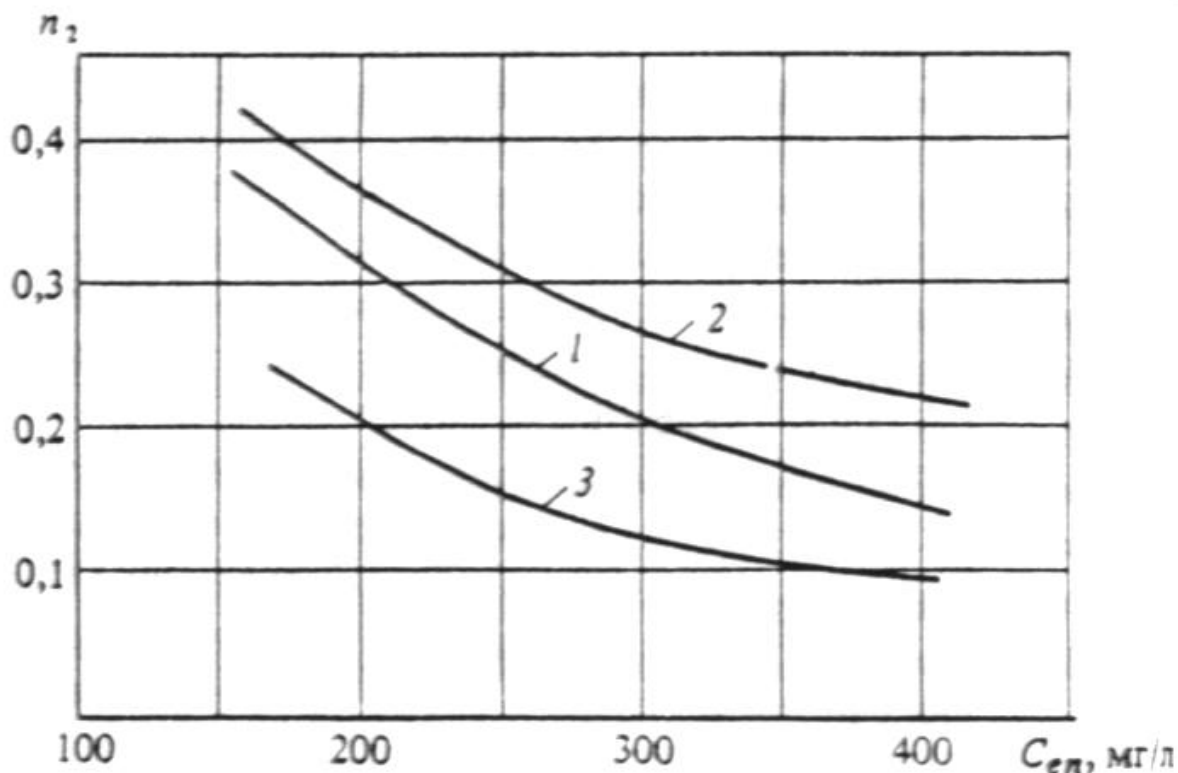


Рисунок 2.17 - Зависимость показателя степени n_2 от исходной концентрации взвешенных веществ в городских сточных водах при эффекте отстаивания 1 - Э = 50 %; 2 - Э = 60 %; 3 - Э = 70 %

Основные расчетные параметры отстойников определяются по таблице 2.8.

Таблица 2.8

Отстойник	Коэффициент использования объема K_{set}	Рабочая глубина H_{set} , м	Ширина B_{set} , м	Скорость рабочего потока v_w , мм/с	Уклон днища к иловому приямку
Горизонтальный	0,5	1,5-4	$2H_{set} - 5H_{set}$	5-10	0,005-0,05
Радиальный	0,45	1,5-5	-	5-10	0,005-0,05
Вертикальный			0,35	2,7-3,8	-
С вращающимся сборно-распределительным устройством		0,85		0,8-1,2	-
С нисходяще-восходящим потоком			0,65	2,7-3,8	$2u_0 - 3u_0$
С тонкослойными блоками:	0,5-0,7	0,025- 2---			
		0,2 6			
			противоточная (прямоточная)		

	схема работы					
перекрестная	0,80,025-1,5-0,005					
схема работы	0,2					

Коэффициент K_{set} определяет гидравлическую эффективность отстойника и зависит от конструкции водораспределительных и водосборных устройств; указывается организацией-разработчиком.

Величину турбулентной составляющей v_{tb} , мм/с, в зависимости от скорости рабочего потока v_w , мм/с, определяется по таблице 2.9.

Таблица 2.9

v_w , мм/с	5	10	15
v_{tb} , мм/с	0	0,05	0,1

Производительность одного отстойника q_{set} , м³/ч, определяется исходя из заданных геометрических размеров сооружения и требуемого эффекта осветления сточных вод по формулам:

а) для горизонтальных отстойников

$$q_{set} = 3,6 K_{set} L_{set} B_{set} (u_0 - v_{tb});$$

б) для отстойников радиальных, вертикальных и с вращающимся сборно-распределительным устройством

$$q_{set} = 2,8 K_{set} (D_{set} - d_{en})(u_0 - v_{tb});$$

в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком

$$q_{set} = 1,41 K_{set} D_{set}^2 u_0;$$

г) для отстойников с тонкослойными блоками при перекрестной схеме работы

$$q_{set} = \frac{7,2 K_{set} H_{bl} L_{bl} u_0}{K_{dis} h_{ti}};$$

д) то же, при противоточной схеме

$$q_{set} = 3,6 K_{set} H_{bl} B_{bl} v_w,$$

K_{set} - коэффициент использования объема, принимаемый по таблице 2.7; L_{set} - длина секции, отделения, м; L_{bl} - длина тонкослойного блока (модуля), м; B_{set} - ширина секции, отделения, м; B_{bl} - ширина тонкослойного блока, м; D_{set} - диаметр отстойника, м; d_{en} - диаметр впускного устройства, м; u_0 - гидравлическая крупность задерживаемых частиц, мм/с; v_{tb} - турбулентная

составляющая, мм/с, принимаемая по таблице 2.8 в зависимости от скорости потока в отстойнике v_w , мм/с; H_{bl} - высота тонкослойного блока, м; h_{ti} - высота яруса тонкослойного блока (модуля), м; K_{dis} - коэффициент сноса выделенных частиц, принимаемый при плоских пластинах равным 1,2, при рифленых пластинах - 1.

Основные конструктивные параметры следует принимать:

- а) для горизонтальных и радиальных отстойников:
 - впуск исходной воды и сбор осветленной - равномерными по ширине (периметру) впускного и сборного устройств отстойника;
 - высоту нейтрального слоя для первичных отстойников - на 0,3 м выше днища (на выходе из отстойника), для вторичных - 0,3 м и глубину слоя ила 0,3-0,5 м;
 - угол наклона стенок илового приемка - 50-55°;
- б) для вертикальных отстойников:
 - длину центральной трубы - равной глубине зоны отстаивания;
 - скорость движения рабочего потока в центральной трубе - не более 30 мм/с;
 - диаметр раструба - 1,35 диаметра трубы;
 - диаметр отражательного щита - 1,3 диаметра раструба;
 - угол конусности отражательного щита - 146°;
 - скорость рабочего потока между раструбом и отражательным щитом - не более 20 мм/с для первичных отстойников и не более 15 мм/с для вторичных;
 - высоту нейтрального слоя между низом отражательного щита и уровнем осадка - 0,3 м;
 - угол наклона конического днища - 50-60°;
- в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком:
 - площадь зоны нисходящего потока - равной площади зоны восходящего;
 - высоту перегородки, разделяющей зоны, - равной $2/3 H_{set}$;
 - уровень верхней кромки перегородки - выше уровня воды на 0,3 м, но не выше стенки отстойника;
 - распределительный лоток переменного сечения - внутри разделительной перегородки. Начальное сечение лотка следует рассчитывать на пропуск расчетного расхода со скоростью не менее 0,5 м/с, в конечном сечении скорость - не менее 0,1 м/с.

Для равномерного распределения воды кромку водослива распределительного лотка следует выполнять в виде треугольных водосливов через 0,5 м;

г) для отстойников с тонкослойными блоками - угол наклона пластин от 45 до 60°.

Количество осадка Q_{mud} , м³/ч, выделяемого при отстаивании, определяется исходя из концентрации взвешенных веществ в поступающей воде C_{en} и концентрации взвешенных веществ в осветленной воде C_{ex} :

$$Q_{mud} = \frac{q_w (C_{en} - C_{ex})}{(100 - \rho_{mud}) \gamma_{mud} \cdot 10^4},$$

q_w - расход сточных вод, м³/ч; ρ_{mud} - влажность осадка, %; γ_{mud} - плотность осадка, г/см³.

Исходя из объема образующегося осадка и вместимости зоны накопления его в отстойнике, определяется интервал времени между выгрузками осадка. При удалении осадка под гидростатическим давлением вместимость приемка первичных отстойников и вторичных отстойников после биофильтров надлежит предусматривать равной объему осадка, выделенного за период не более 2 сут, вместимость приемка вторичных отстойников после аэротенков - не более двухчасового пребывания осадка.

При механизированном удалении осадка вместимость зоны накопления его в первичных отстойниках надлежит принимать по количеству выпавшего осадка за период не более 8 ч.

Интенсификация первичного осветления сточных вод. В получивших распространение первичных отстойниках задерживается обычно 40-50% взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах. Вместе с тем при начальной концентрации взвешенных веществ не менее 300-400 мг/л, эффект первичного осветления может достигать 70-75%. В противном случае неизбежен повышенный прирост избыточного активного ила, имеющего больший фактический объем и меньшую влагоотдачу при последующем обезвоживании. В условиях формирования многокомпонентных городских сточных вод очень часто также образуется тонкодисперсная взвесь, в которой содержание оседающих веществ не превышает 30-50%.

Наибольшее распространение для очистки городских сточных вод получили методы интенсификации, связанные с использованием биофлокулирующих свойств избыточного активного ила и биопленки, имеющие в своем составе внеклеточные биополимеры, обуславливающие пространственное структурирование и биофлокуляцию клеточных образований.

Функциональные группы, содержащиеся в биополимерах, могут в среде, близкой к нейтральной, проявлять свойства ионов или быть неионогенными, обеспечивая образование мостиковых связей как между собой, так и с другими частицами минерального или органического происхождения, т.е. выполняют роль флокулянтов.

Таким образом, избыточный активный ил и биопленка представляют собой естественные биофлокулирующие добавки, образующиеся в процессе биологической очистки сточных вод.

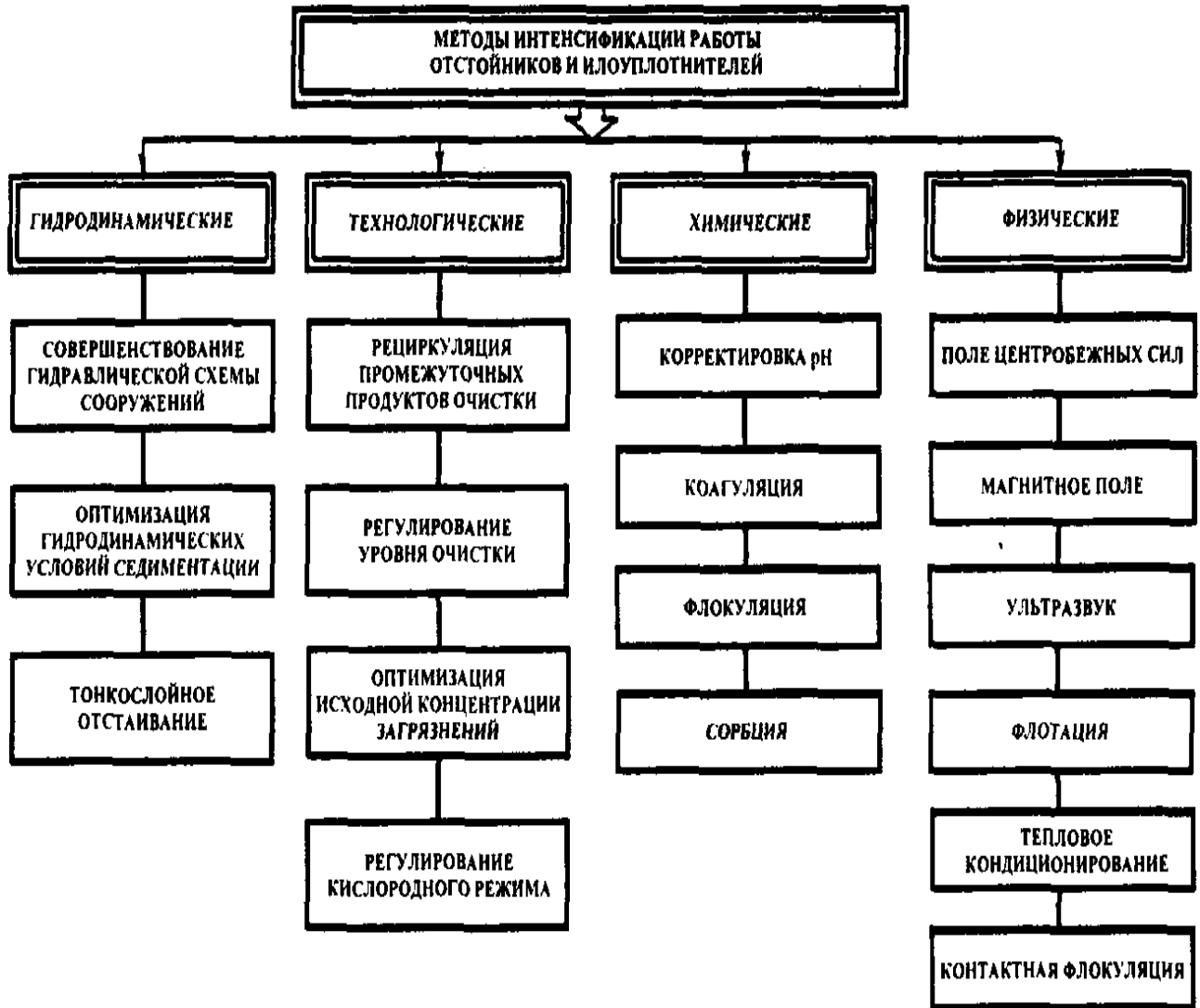


Рисунок 2.19 - Методы интенсификации работы отстойников и илоуплотнителей

3 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

3.1 Поля фильтрации

Поля фильтрации для полной биологической очистки сточных вод предусматриваются, как правило, на песках, супесях и легких суглинках.

Продолжительность отстаивания сточных вод перед поступлением их на поля фильтрации принимается не менее 30 мин.

Площадки для полей фильтрации выбираются со спокойным и слабо-выраженным рельефом с уклоном до 0,02, с расположением ниже течения грунтового потока от сооружений для забора подземных вод на расстоянии, равном величине радиуса депрессионной воронки, но не менее 200 м для легких суглинков, 300 м - для супесей и 500 м - для песков.

При расположении полей фильтрации выше по течению грунтового потока расстояние их до сооружений для забора подземных вод следует принимать с учетом гидрогеологических условий и требований санитарной охраны источника водоснабжения.

На территориях, граничащих с местами выклинивания водоносных горизонтов, а также при наличии трещиноватых пород и карстов, не перекрытых водоупорным споем, размещение полей фильтрации не допускается.

Нагрузку сточных вод на поля фильтрации принимается на основании данных опыта эксплуатации полей фильтрации, находящихся в аналогичных условиях. Нагрузку бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод допускается принимать по таблице 3.1.

Т а б л и ц а 3.1-Нагрузка сточных вод на поля фильтрации

Грунты	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка сточных вод, м ³ /(га.сут) при залегании грунтовых вод на глубине, м		
		1,5	2	3
Легкие суглинки	От 0 до 3,5	-	55	60
	Св. 3,5 до 6	-	70	75
	« 6 « 11	-	75	85
	Св. 11	-	85	100
Супеси	От 0 до 3,5	80	85	100
	Св. 3,5 до 6	90	100	120
	« 6 « 11	100	110	130
	Св. 11	120	130	150
Пески	От 0 до 3,	120	140	180
	Св. 3,5 до 6	150	175	225
	« 6 « 11	160	190	235
	Св. 11	180	210	250

Примечания: 1. Нагрузка указана для районов со среднегодовым количеством атмосферных осадков от 300 до 500 мм.

2. Нагрузку необходимо уменьшать для районов со среднегодовым количеством атмосферных осадков: 500-700 мм - на 15-25 %; свыше 700 мм, а также для I климатического района и IIIА климатического подрайона - на 25-30 %, при этом больший процент снижения нагрузки надлежит принимать при легких суглинистых, а меньший - при песчаных грунтах.

Площадь полей фильтрации в необходимых случаях следует проверять на намораживание сточных вод. Продолжительность намораживания следует принимать равной числу дней со среднесуточной температурой воздуха ниже минус 10 °С.

Величину фильтрации сточных вод в период их намораживания необходимо определять с уменьшением на величину коэффициента, приведенного в таблице 3.2.

Т а б л и ц а 3.2

Грунты	Коэффициент снижения величины фильтрации в период намораживания
Легкие суглинки	0,3
Супеси	0,45
Пески	0,55

Необходимо предусматривать резервные карты, площадь которых должна быть обоснована в каждом отдельном случае и не должна превышать полезной площади полей фильтрации, %: в III и IV климатических районах - 10; во II климатическом районе - 20; в I климатическом районе - 25.

Дополнительную площадь для устройства сетей, дорог, оградительных валиков, древесных насаждений допускается принимать в размере до 25 % при площади полей фильтрации свыше 1000 га и до 35 % при площади их 1000 га и менее.

Размеры карт полей фильтрации определяются в зависимости от рельефа местности, общей рабочей площади полей, способа обработки почвы. При обработке тракторами площадь карты должна быть не менее 1,5 га.

Отношение ширины карты к длине следует принимать от 1:2 до 1:4; при обосновании допускается увеличение длины карты.

На картах полей фильтрации, предназначенных для намораживания сточных вод, следует предусматривать выпуски талых вод на резервные карты.

Устройство дренажа на полях фильтрации обязательно при залегании грунтовых вод на глубине менее 1,5 м от поверхности карт независимо от характера грунта, а также и при большей глубине залегания грунтовых вод, при неблагоприятных фильтрационных свойствах грунтов, когда одни осушительные каналы не обеспечивают необходимого понижения уровня грунтовых вод.

Поля подземной фильтрации. Поля подземной фильтрации применяются в песчаных и супесчаных грунтах, при расположении оросительных труб выше уровня грунтовых вод не менее чем на 1 м и заглублении их не более 1,8 м и не менее 0,5 м от поверхности земли. Оросительные трубы рекомен-

дуется укладывать на слой подсыпки толщиной 20-50 см из гравия, мелкого хорошо спекшегося котельного шлака, щебня или крупнозернистого песка.

Общая длина оросительных труб определяется по нагрузке в соответствии с таблицей 3.3. Длину отдельных оросителей следует принимать не более 20 м.

Таблица 3.3

Грунты	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка, л/сут на 1 м оросительных труб полей подземной фильтрации, в зависимости от глубины наивысшего уровня грунтовых вод от лотка, м		
		1	2	3
Пески	До 6	16	20	22
	От 6,1 до 11	20	24	27
	Св. 11,1	22	26	30
Супеси	До 6	8	10	12
	От 6,1 до 11	10	12	14
	Св. 11,1	11	13	16

Примечания: 1. Нагрузка указана для районов со среднегодовым количеством атмосферных осадков до 500 мм.

2. Нагрузку необходимо уменьшать, для районов со среднегодовым количеством осадков 500-600 мм - на 10-20 %, свыше 600 мм - на 20-30 %; для I климатического района и IIIА климатического подрайона - на 15 %. При этом больший процент снижения надлежит принимать при супесчаных грунтах, меньший - при песчаных.

3. При наличии крупнозернистой подсыпки толщиной 20-50 см нагрузку следует принимать с коэффициентом 1,2-1,5.

4. При удельном водоотведении свыше 150 л/сут на одного жителя или для объектов сезонного действия нормы нагрузок следует увеличивать на 20 %.

Для притока воздуха предусматриваются на концах оросительных труб стояки диаметром 100 мм, возвышающиеся на 0,5 м над уровнем земли.

3.2 Песчано-гравийные фильтры и фильтрующие траншеи

Песчано-гравийные фильтры и фильтрующие траншеи при количестве сточных вод не более 15 м³/сут проектируются в водонепроницаемых и слабофильтрующих грунтах при наивысшем уровне грунтовых вод на 1 м ниже лотка отводящей дрены.

Перед сооружениями необходимо предусматривать установку септиков.

Очищенную воду следует или собирать в накопители, или сбрасывать в водные объекты с соблюдением «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и «Правил санитарной охраны прибрежных вод морей».

Расчетная длина фильтрующих траншей принимается в зависимости от расхода сточных вод и нагрузки на оросительные трубы, но не более 30 м, ширину траншеи понизу - не менее 0,5 м.

Песчано-гравийные фильтры надлежит проектировать в одну или две ступени. В качестве загрузочного материала одноступенчатых фильтров следует принимать крупно- и среднезернистый песок.

В фильтрующих траншеях в качестве загрузочного материала следует принимать крупно- и среднезернистый песок и другие материалы.

Нагрузку на оросительные трубы песчано-гравийных фильтров и фильтрующих траншей, а также толщину слоя загрузки следует принимать по таблице 3.4.

Т а б л и ц а 3.4 - Нагрузка на оросительные трубы песчано-гравийных фильтров

Сооружение	Высота слоя загрузки, м	Нагрузка на оросительные трубы, л/(мсут)
Одноступенчатый песчано-гравийный фильтр или вторая ступень двухступенчатого фильтра	1 - 1,5	80 - 100
Первая ступень двухступенчатого фильтра	1 - 1,5	150 - 200
Фильтрующая траншея	0,8 - 1	50 - 70

Примечания: 1. Меньшие нагрузки соответствуют меньшей высоте.

2. Нагрузки указаны для районов со среднегодовой температурой воздуха от 3 до 6 °С.

3. Для районов со среднегодовой температурой воздуха выше 6 °С нагрузку следует увеличивать на 20-30 %, ниже 3 °С - уменьшать на 20-30 %.

4. При удельном водоотведении свыше 150 л/(чел.сут) нагрузку следует увеличивать на 20-30 %.

3.3 Фильтрующие колодцы

Фильтрующие колодцы устраиваются только в песчаных и супесчаных грунтах при количестве сточных вод не более 1 м³/сут. Основание колодца должно быть выше уровня грунтовых вод не менее чем на 1 м.

Примечания: 1. При использовании подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения возможность устройства фильтрующих колодцев решается в зависимости от гидрогеологических условий и по согласованию с органами Министерства геологии и санитарно-эпидемиологической службой.

2. Перед колодцами необходимо предусматривать септики.

Фильтрующие колодцы проектируются из железобетонных колец, кирпича усиленного обжига или бутового камня. Размеры в плане должны быть не более 2х2 м, глубина - 2,5 м.

Ниже подводящей трубы следует предусматривать:

- донный фильтр высотой до 1 м из гравия, щебня, спекшегося шлака и других материалов - внутри колодца;
- обсыпку из тех же материалов - у наружных стенок колодца;
- отверстия для выпуска профильтровавшейся воды - в стенках колодца.

В покрытии колодца надлежит предусматривать люк диаметром 700 мм и вентиляционную трубу диаметром 100 мм.

Расчетная фильтрующая поверхность колодца определяется как сумма площадей дна и поверхности стенки колодца на высоту фильтра. Нагрузка на 1 м² фильтрующей поверхности принимается 80 л/сут в песчаных грунтах и 40 л/сут в супесчаных.

Нагрузку следует увеличивать: на 10-20 % - при устройстве фильтрующих колодцев в средне- и крупнозернистых песках или при расстоянии между основанием колодца и уровнем грунтовых вод свыше 2 м; на 20 % - при удельном водоотведении свыше 150 л/(чел.сут) и среднезимней температуре сточных вод выше 10 °С.

3.4 Биологические пруды

Биологические пруды применяются для очистки и глубокой очистки городских, производственных и поверхностных сточных вод, содержащих органические вещества.

Биологические пруды допускается проектировать как с естественной, так и с искусственной аэрацией.

При очистке в биологических прудах сточные воды не должны иметь БПК_{полн} свыше 200 мг/л - для прудов с естественной аэрацией и свыше 500 мг/л - для прудов с искусственной аэрацией. В пруды для глубокой очистки допускается направлять сточную воду после биологической или физико-химической очистки с БПК_{полн} не более 25 мг/л - для прудов с естественной аэрацией и не более 50 мг/л - для прудов с искусственной аэрацией. При БПК_{полн} свыше 500 мг/л следует предусматривать предварительную очистку.

Перед прудами для очистки следует предусматривать решетки с прозорами не более 16 мм и отстаивание сточных вод в течение не менее 30 мин.

После прудов с искусственной аэрацией необходимо предусматривать отстаивание очищенной воды в течение 2-2,5 ч.

Биологические пруды следует устраивать на нефилтрующих или слабофилтрующих грунтах. При неблагоприятных в фильтрационном отношении грунтах следует осуществлять противофильтрационные мероприятия.

Биологические пруды следует проектировать не менее чем из двух параллельных секций с 3-5 последовательными ступенями в каждой, с возможностью отключения любой секции пруда для чистки или профилактического ремонта без нарушения работы остальных.

Отношение длины к ширине пруда с естественной аэрацией должно быть не менее 20. При меньших отношениях предусматриваются конструкции впускных и выпускных устройств, обеспечивающие движение воды по всему живому сечению пруда.

В прудах с искусственной аэрацией отношение сторон секций может быть любым, при этом аэрирующие устройства должны обеспечивать движение воды в любой точке пруда со скоростью не менее 0,05 м/с. Форма прудов в плане зависит от типа аэраторов: для пневматических или механических аэраторов пруды могут быть прямоугольными, для самодвижущихся механических - круглыми.

Отметка лотка перепускной трубы из одной ступени в другую должна быть выше дна на 0,3-0,5 м. Выпуск очищенной воды следует осуществлять через сборное устройство, расположенное ниже уровня воды на 0,15-0,2 глубины пруда.

Хлорировать воду следует после прудов. В отдельных случаях, при длине прокладки трубопровода хлорной воды свыше 500 м или необходимости строительства отдельной хлораторной, допускается хлорирование перед прудами.

Концентрация остаточного хлора в воде после контакта не должна превышать 0,25-0,5 г/м³.

Рабочий объем пруда надлежит определять по времени пребывания в нем среднесуточного расхода сточных вод. Время пребывания воды в пруде с естественной аэрацией t_{lag} , сут, следует определять по формуле

$$t_{lag} = \frac{1}{K_{lag} k} \sum_{i=1}^{N-1} \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}} + \frac{1}{K'_{lag} k'} \lg \frac{L'_{en} - L_{fin}}{L'_{ex} - L_{fin}},$$

N - число последовательных ступеней пруда; K_{lag} - коэффициент объемного использования каждой ступени пруда; K'_{lag} - то же, последней ступени; K_{log} и K'_{log} принимаются для искусственных прудов с отношением длины секций к ширине 20:1 и более - 0,8-0,9, при отношении 1:1 - 3:1 или для прудов, построенных на основе естественных местных водоемов (озер, запруд), - 0,35, для промежуточных случаев определяются интерполяцией; L_{en} - БПК_{полн} воды, поступающей в данную ступень пруда; L'_{en} - то же, для последней ступени; L_{ex} - БПК_{полн} воды, выходящей из данной ступени пруда; L'_{ex} - то же, для последней ступени; L_{fin} - остаточная БПК_{полн}, обусловленная внутриводоемными процессами и принимаемая летом 2-3 мг/л (для цветущих прудов - до 5 мг/л), зимой - 1-2 мг/л; k - константа скорости потребления кислорода, сут; для производственных сточных вод устанавливается экспериментальным путем; для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод при отсутствии экспериментальных данных k для всех промежуточных секций очистного пруда может быть принята равной 0,1 сут⁻¹, для последней ступени $k = 0,07$ сут⁻¹ (при температуре воды 20 °С).

Для прудов глубокой очистки k следует принимать, сут⁻¹: для 1-й ступени - 0,07; для 2-й ступени - 0,06; для остальных ступеней пруда - 0,05-0,04; для одноступенчатого пруда $k = 0,06$ сут⁻¹.

Для температур воды, отличающихся от 20 °С, значение k должно быть скорректировано по формулам:

для температуры воды от 5 до 30 °С

$$k_T = k \cdot 1,047^{T-20};$$

для температуры воды от 0 до 5 °С

$$k_T = k \left[1,12(T + 1)^{-0,022} \right]^{T-20},$$

k - коэффициент, определяемый в лабораторных условиях при температуре воды 20 °С.

Общая площадь зеркала воды пруда F_{lag} , м², с естественной аэрацией определяется по формуле

$$F_{lag} = \frac{Q_w C_a (L_{en} - L_{ex})}{K_{lag} (C_a - C_{ex}) r_a},$$

Q_w - расход сточных вод, м³/сут; C_a - следует определять по формуле $C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6} \right) C_T$; C_T - растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принимаемая по справочным данным; h_a - глубина погружения аэратора, м; C_o - средняя концентрация кислорода в аэротенке, мг/л; в первом приближении C_o допускается принимать 2 мг/л; C_{ex} - концентрация кислорода, которую необходимо поддерживать в воде, выходящей из пруда, мг/л; r_a - величина атмосферной аэрации при дефиците кислорода, равном единице, принимаемая 3-4 г/(м²сут);

Расчетная глубина пруда H_{lag} , м, с естественной аэрацией определяется по формуле

$$H_{lag} = \frac{K_{lag} (C_a - C_{ex}) r_a t_{lag}}{C_a (L_{en} - L_{ex})}.$$

Рабочая глубина пруда не должна превышать, м: при L_{en} свыше 100 мг/л - 0,5, при L_{en} до 100 мг/л - 1; для прудов глубокой очистки с L_{en} от 20 до 40 мг/л - 2, с L_{en} до 20 мг/л - 3. При возможности замерзания пруда зимой H должна быть увеличена на 0,5 м.

Время пребывания воды t_{lag} , сут, глубокой очистки в пруде с искусственной аэрацией определяется по формуле

$$t'_{lag} = \frac{N}{2,3 k_d} \left(\sqrt[N]{\frac{L_{en}}{L_{en} - L_{fin}}} - 1 \right),$$

k_d - динамическая константа скорости потребления кислорода, равная:

$$k_d = \beta_1 k,$$

β_1 - коэффициент, зависящий от скорости v_{lag} , м/с, движения воды в пруде, создаваемой аэрирующими устройствами или перемещением воды по коридорам лабиринтного типа; величина β_1 , определяется по формуле

$$\beta_1 = 1 + 120v_{lag}.$$

Если $v_{lag} > 0,05$ м/с, то $\beta_1 = 7$

Для повышения глубины очистки воды до БПК_{полн} = 3 мг/л и снижения содержания в ней биогенных элементов (азота и фосфора) рекомендуется применение в пруде высшей водной растительности - камыша, рогоза, тростника при плотности посадки 150-200 растений на 1 м². Высшая водная растительность должна быть размещена в последней секции пруда.

Площадь, занимаемую высшей водной растительностью, допускается определять по нагрузке, составляющей 10 000 м³/сут на 1 га.

4 БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ИСКУССТВЕННО СОЗДАНЫХ УСЛОВИЯХ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ.

4.1 Теоретические основы метода биофильтрации

Биологический фильтр (биофильтр) - сооружение, в котором сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической плёнкой (биоплёнкой), образованной колониями микроорганизмов (рисунок 4.1).

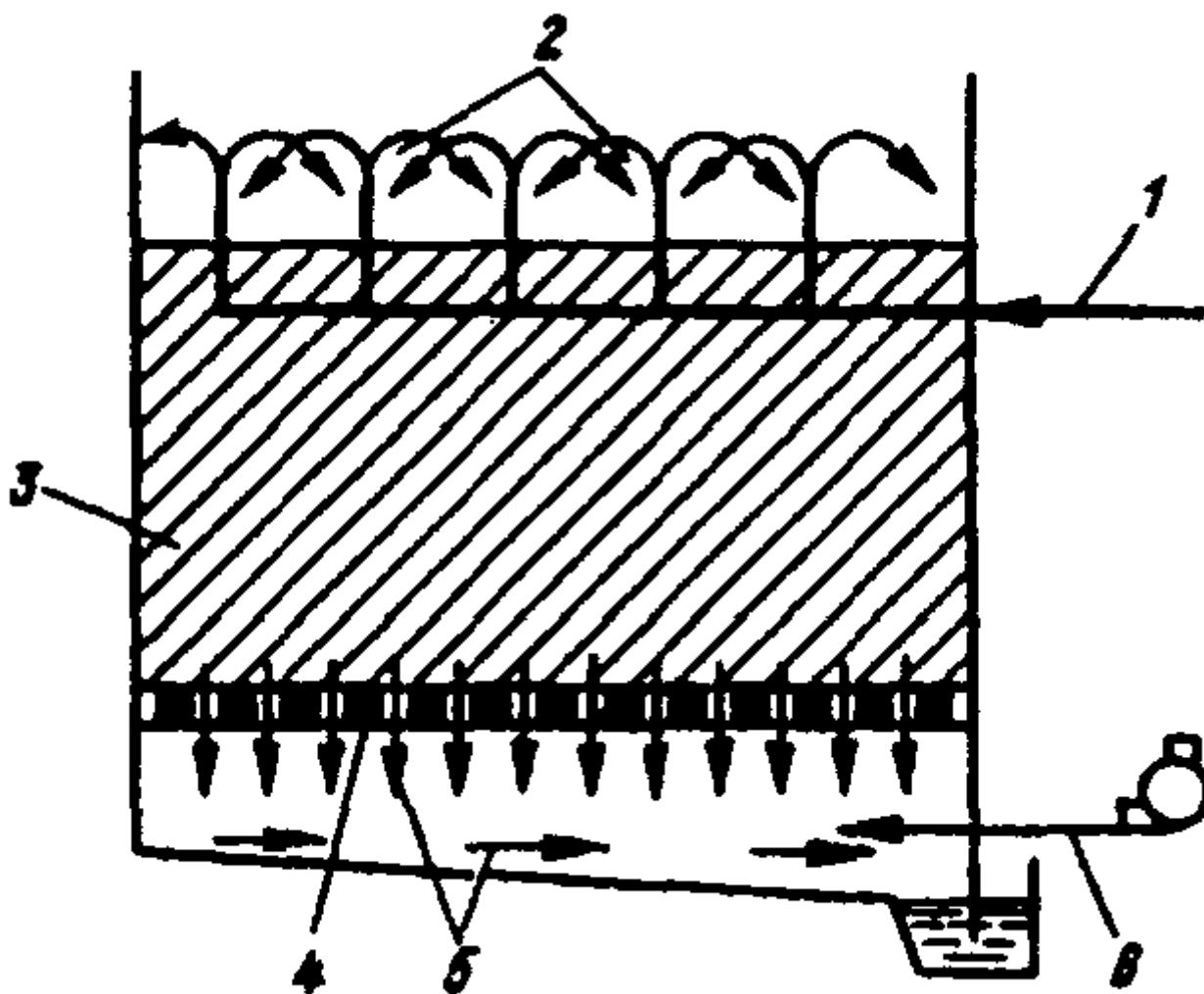


Рисунок 4.1 - Схема биологического фильтра: 1 - подача сточных вод; 2 - водораспределительное устройство; 3 - фильтрующая загрузка; 4 - дренажное устройство; 5 - очищенная сточная вода; 6 - вентиляционное устройство

Биофильтр состоит из следующих частей:

- фильтрующей загрузки, помещенной в резервуар круглой или прямоугольной в плане формы;
- водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное орошение сточной водой поверхности загрузки биофильтра;
- дренажного устройства для удаления очищенной сточной воды;
- вентиляционного устройства, с помощью которого поступает необхо-

димый для окислительного процесса воздух.

Толщина образующейся биоплёнки зависит от гидравлической нагрузки, концентрации органических веществ, от пористости и удельной поверхности загрузочного материала, влияния внешней среды и многих других факторов. До конца не раскрыты процессы, протекающие в различных слоях биоплёнки, взаимовлияние анаэробного и аэробного слоев на эффективность функционирования сооружения. Вместе с тем известно, что толщина анаэробного слоя значительно больше аэробного. В нормально работающем биофильтре общая толщина слоя биоплёнки может составлять от микрон в верхних его слоях до 3-6 мм в нижних.

Процессы сорбции и деструкции загрязнений сточных вод в биологических фильтрах во многом сходны с процессами очистки сточных вод в других сооружениях биологической очистки и, в первую очередь, в сооружениях почвенной очистки на полях орошения и полях фильтрации.

Процессы биологического окисления органических загрязнений в биофильтрах протекают значительно интенсивнее за счёт увеличенной пористости загрузочного материала, по сравнению с пористостью почв. Фильтруясь через загрузку биофильтра, загрязненная вода оставляет в ней нерастворимые примеси, не осевшие в первичных отстойниках, а также коллоидные и растворенные органические вещества, сорбируемые биологической плёнкой. Под термином «фильтрация» не следует упрощенно понимать только процессы механического процеживания сквозь толщу загрузочного материала. Биофильтр это сооружение биологической очистки с фиксированной биомассой, закреплённой на поверхности среды-носителя, которая осуществляет процессы извлечения и сложной биологической переработки загрязнений из сточных вод, при этом увеличивается масса активной биологической плёнки в теле биофильтра.

Микроорганизмы биоплёнки в процессе ферментативных реакций окисляют органические вещества, получая при этом питание и энергию, необходимые для своей жизнедеятельности. Часть органических веществ микроорганизмы используют как материал для увеличения своей массы. В процессе метаболических реакций происходит преобразование загрязнений в простые соединения (вода, минеральные соединения и газы), в результате из сточной воды удаляются органические загрязнения, проходят процессы денитрификации и увеличивается масса активной биологической пленки в теле биофильтра. Отработавшая и омертвевшая плёнка смывается и выносится из тела биофильтра протекающей сточной водой. Необходимый для биохимического процесса кислород поступает в толщу загрузки путём естественной или искусственной вентиляции фильтра (рисунок 11.2).

Биофильтр представляет собой открытую экологическую систему, ограниченную в пространстве. Экосистема биофильтра состоит из двух сред живой (биоценоз биоплёнки) и неживой (конструктивная часть биофильтра, компоненты движущихся жидкой и газовой фаз). Биологическая плёнка, как живая среда экосистемы биофильтра, обеспечивается питанием и энергией посредством изъятия и переработки загрязнений сточной воды.

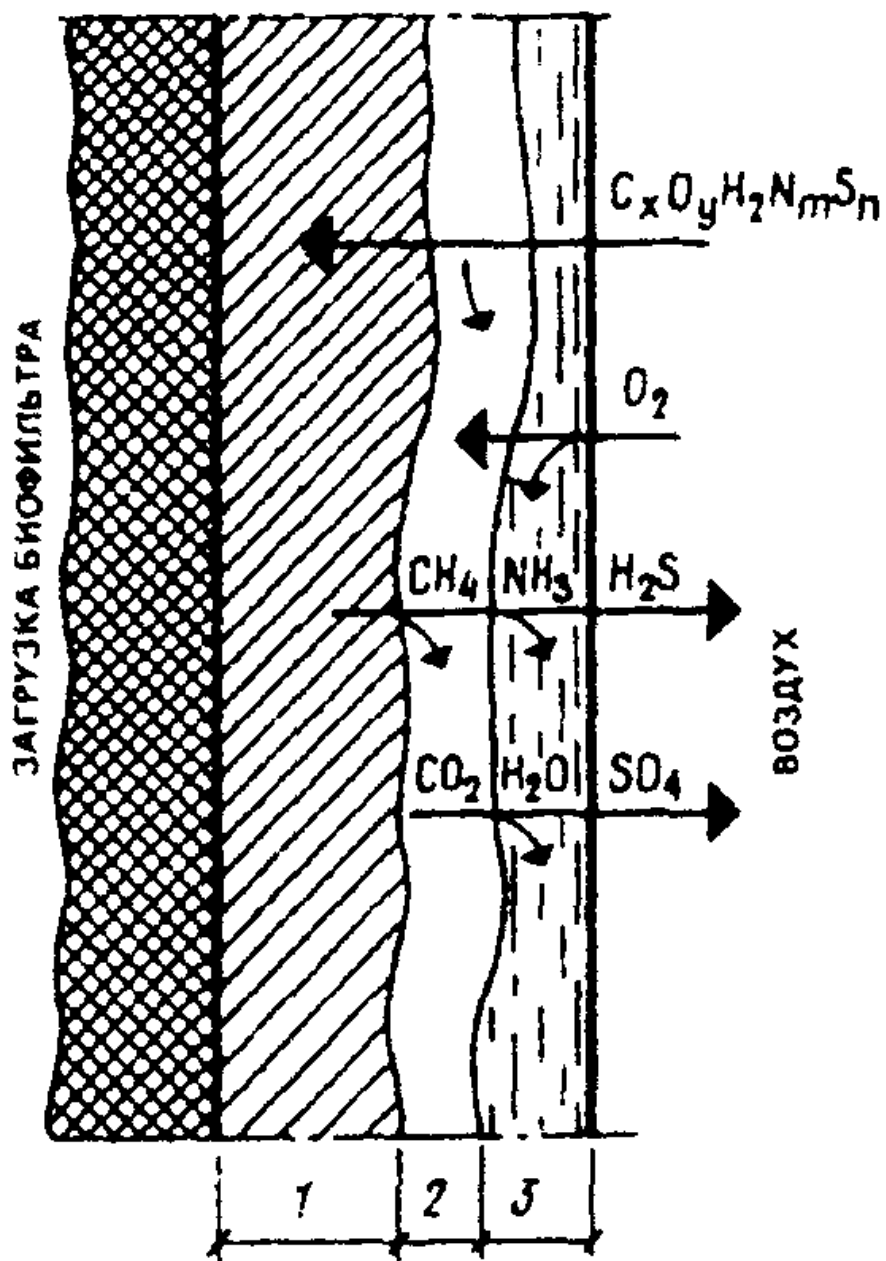


Рисунок 4.2 – Схема обмена веществ в слое биофильтра: 1 - анаэробный слой биопленки; 2 - аэробный слой биопленки; 3 - слой сточной воды

Экосистема биофильтр отличается устойчивым равновесием, то есть способностью за счет саморегулирования возвращаться в исходное состояние по пропускной способности и эффективности работы после отклонений от стабильного режима в результате воздействия окружающей среды и условий функционирования. Показателем жизнестойкости системы является большое разнообразие видового состава биопленки.

Эффективность и пропускная способность биофильтров зависит от многих факторов: влияния окружающей среды, состава и режима сточных вод, конструкции биофильтров, видового состава биопленки, эксплуатации.

4.2 Классификация биофильтров

Биофильтры могут работать на полную и неполную биологическую очистку и классифицируются по различным признакам, основными из которых являются конструктивные особенности и вид загрузочного материала.

По виду загрузочного материала биофильтры делятся на: биофильтры с объемной загрузкой (гравий, шлак, керамзит, щебень) и биофильтры с плоскостной загрузкой (пластмассы, асбестоцемент, керамика, металл, ткани).

Биофильтры с объемной загрузкой подразделяются на следующие:

- капельные, имеющие крупность фракций загрузочного материала 20-30 мм и высоту слоя загрузки 1-2 м;
- высоконагружаемые, имеющие крупность загрузочного материала 40-60 мм и высоту слоя загрузки 2-4 м;
- биофильтры большой высоты (башенные), имеющие крупность загрузочного материала 60-80 мм и высоту слоя загрузки 8-16 м. Объемный загрузочный материал имеет плотность 500-1500 кг/м³ и пористость 40-50%.

Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются:

- с жесткой засыпной загрузкой. В качестве загрузки могут использоваться керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы. В зависимости от материала загрузки плотность ее составляет 100-600 кг/м³, пористость 70-90%, высота слоя загрузки 1-6 м;
- с жесткой блочной загрузкой. Блочные загрузки могут выполняться из различных видов пластмассы (гофрированные и плоские листы или пространственные элементы), а также из асбестоцементных листов. Плотность пластмассовой загрузки 40-100 кг/м³, пористость 90-97%, высота слоя загрузки 2-16 м;
- с мягкой или рулонной загрузкой, выполненной из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей (нейлон, капрон), которые крепятся на каркасах или укладываются в виде рулонов. Плотность такой загрузки 5-60 кг/м³, пористость 94-99%, высота слоя загрузки 3-8 м.

Пропускная способность биофильтров зависит от конструктивных особенностей того или иного типа сооружения и объясняется содержанием активной биомассы на единицу объема биофильтра.

Биофильтры с объемной загрузкой (капельные биофильтры). В капельном биофильтре сточная вода подается в виде капель или струй. Естественная вентиляция осуществляется через открытую поверхность биофильтра и дренаж. Такие биофильтры имеют низкую нагрузку по воде - обычно 0,5-2 м³ на 1 м³ объема загрузочного материала в сутки. Капельные биофильтры рекомендуется применять при расходе сточных вод не более 1000 м³/сут. Они предназначены для полной биологической очистки сточных вод.

Схема работы капельных биофильтров. Сточная вода, осветленная в первичных отстойниках, поступает в распределительные устройства, из которых периодически напускается на поверхность биофильтра. Вода, профильтрованная через толщу загрузки, проходит через дренажную систему,

а далее по непроницаемому днищу стекает к отводным лоткам, расположенным за пределами биофильтра. Затем вода поступает во вторичные отстойники, в которых отмершая биоплёнка отделяется от очищенной воды.

Высоконагружаемые биофильтры. Отличительной особенностью этих сооружений является более высокая, по сравнению с капельными биофильтрами, окислительная мощность, что обусловлено меньшей заиляемостью таких фильтров и лучшим обменом воздуха в них. Достигается это благодаря крупным фракциям загрузочного материала и повышенной в несколько раз нагрузке по воде. Высокая скорость движения сточной воды в биофильтре обеспечивает постоянный вынос задержанных трудно окисляемых нерастворенных примесей и отмирающей биопленки. Поступающий в тело биофильтра кислород воздуха расходуется в основном на биологическое окисление части загрязнений, не вынесенных из тела биофильтра. Они предназначаются для неполной и полной биологической очистки сточных вод.

Башенные биофильтры. Эти биофильтры имеют высоту 8-16 м и применяются для очистных станций пропускной способностью до 50 тыс м³/сут при благоприятном рельефе местности и при БПК очищенных сточных вод 20-25 мг/л. В отечественной практике они распространения не получили.

Биофильтры с плоскостной загрузкой. Появление плоскостных - блочных, мягких и засыпных загрузочных материалов позволило значительно повысить производительность биологических фильтров, рисунок 4.3.

Плотность плоскостных загрузочных материалов 12,2-140 кг/м³ значительно меньше, чем традиционных из гравия или щебня 1350-1500 кг/м³, что позволяет упростить и облегчить фундамент и ограждающие конструкции биофильтров. Пористость плоскостных загрузочных материалов составляет 87-99%, что более чем вдвое выше, чем у объемных загрузок (40-50%). Это позволяет отказаться от принудительной вентиляции и сэкономить значительное количество электроэнергии. Удельная поверхность плоскостных загрузочных материалов составляет 80-450 м²/м³, против 50-80 м²/м³ у объемных. Однако, даже при одинаковой удельной поверхности активная поверхность плоскостных загрузочных материалов значительно больше за счет отсутствия мертвых зон, образующихся при соприкосновении фракций засыпного загрузочного материала.

Производительность биофильтров из сложных загрузочных материалов, по сравнению с гладкими, при одинаковой площади удельной поверхности и в одинаковых условиях работы, на 67% выше. Они имеют высокую индустриальность строительства, включая заводское изготовление блочного загрузочного материала или комплекса сооружений небольшой пропускной способности. Им свойственна высокая пропускная способность, как по расходу сточных вод, так и по снижению органических загрязнений, превышающая соответствующие показатели биофильтров с объемной загрузкой в 3-8 раз.

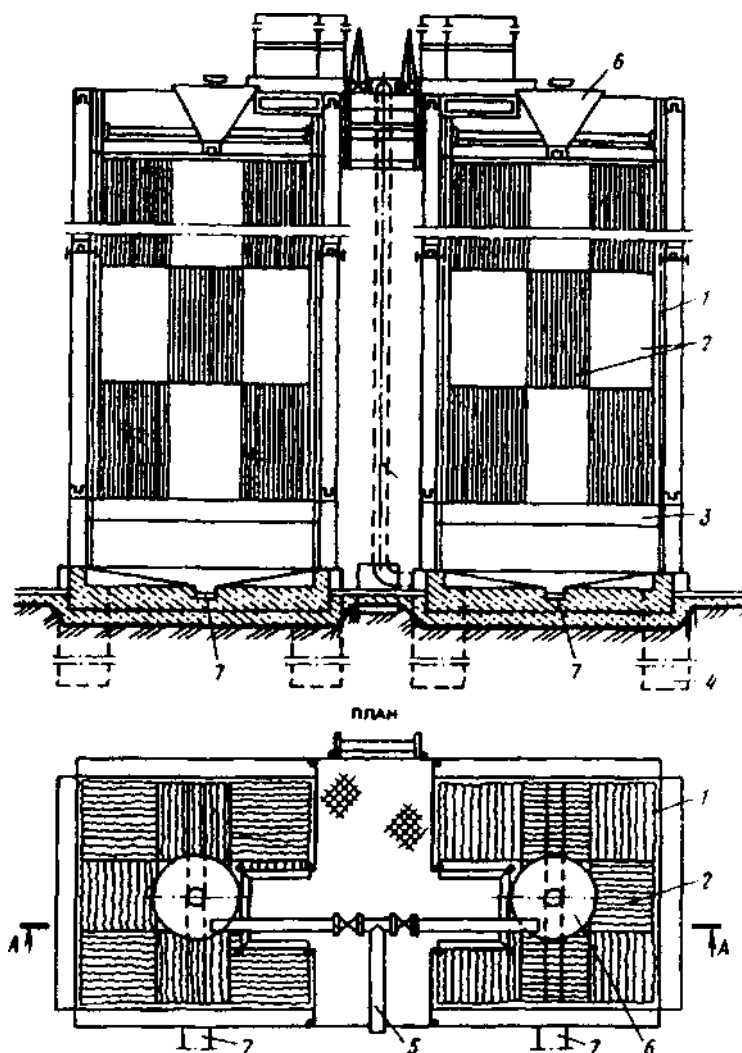


Рисунок 4.3 - Биофильтр с плоскостной (пластмассовой) загрузкой: 1 - корпус из облегчённых листов по металлическому каркасу; 2 - пластмассовая загрузка; 3 - решетка; 4 - бетонные столбовые опоры; 5 - подводящий трубопровод; 6 - реактивный ороситель; 7 - отводящие лотки

Основные виды серийно выпускаемых плоскостных загрузочных материалов представлены в таблице 4.1.

4.3 Технологические схемы работы биофильтров

В классической схеме на биофильтрах процесс очистки сточных вод осуществляется в проточном режиме с периодическим или непрерывным орошением поверхности загрузочного материала и включает сооружения биофльтрации и вторичного отстаивания, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточной воды, отведения и рециркуляции очищенной воды, вентиляции биофильтров.

По технологической схеме работы биофильтры могут быть одно- и двухступенчатыми, при этом режим работы назначается как с рециркуляцией, так и без нее. Биофильтры применяются в качестве сооружений первой или второй ступеней биологической очистки в комплексе с другими биоокислителями.

Таблица 14.1- Плоскостные загрузочные материалы

Загрузка	Страна изготовитель	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Удельная поверхность, м ² /м ³	Масса, кг/м ²	Материал
Полигрид	США	80	95	45	1,77	Полистирол
Доупак	США	60	94	82	0,73	Саран
Сэфпак	США	48-64	94	90-187	0,17-0,78	Полистирол
Клоизонил 1,11	Франция	70-80	94-95	180-220	0,36-0,39	ПВХ
Корозил	США	43-68	95-97	122	0,45	ПВХ
Пласдек	Швеция	28-70	95-98	100-230	0,19-0,30	ПВХ
Фловик А,В,С	Великобрит.	38-76	95-97	86-160	0,44-0,48	ПВХ
Гидропак	Германия	31-67	94-98	200	0,16-0,4	ПВХ
Зульцер	Швейцария	140	90	450	0,31	ПВХ
Биопак	-	75	93	124	0,60	Полистирол
НСВ	-	41	96	73	0,56	Полистирол
Сложная волна	Россия	40	96	80	0,50	Полиэтилен
Флокор Е,М,Р	Великобрит.	39-70	96	90-330	0,21-0,43	ПВХ
Эваллпорит	Германия	50	94	160	0,31	ПВХ
Кларпак ВР-Т	Польша	28	98	135	0,21	ПВХ
ЗОП	РФ	60	95	120	0,5	Полиэтилен
Трак	РФ	20	97	140	0,14	ПВХ
Трактор	РФ	48	94	187	0,25	ПВХ

Допускается применение биологических фильтров с плоскостной загрузкой без первичного отстаивания в одно- и двухступенчатых технологических схемах очистки сточных вод.

На рисунке 4.4,а приведена классическая схема очистки сточных вод при концентрации органических загрязнений по БПК_{ПОЛН} < 300 мг/л. По этой схеме сточная вода, после первичного отстаивания поступает на биофильтр и далее биологически очищенная вода осветляется во вторичном отстойнике.

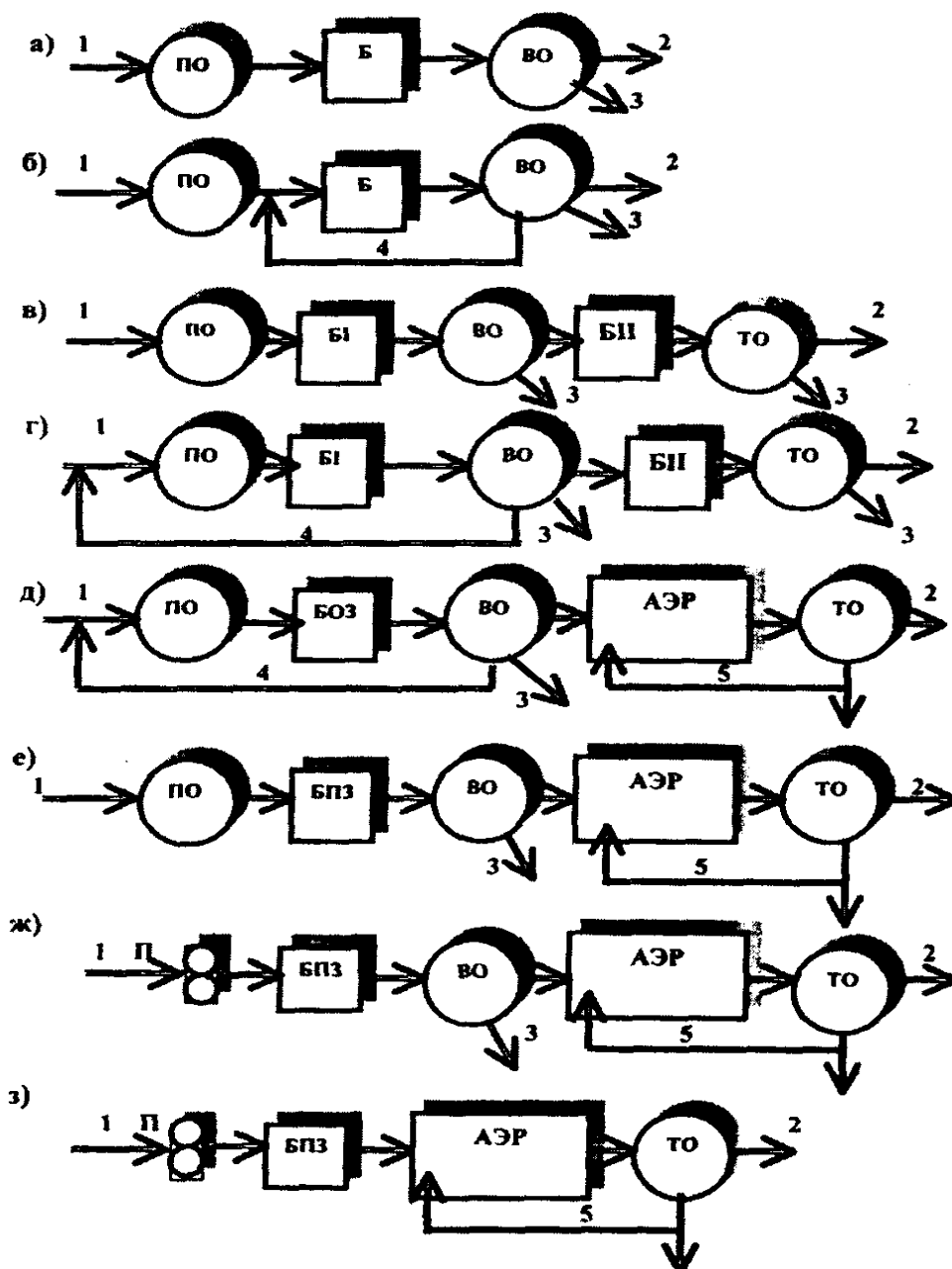


Рисунок 4.4 - Технологические схемы работы биофильтров: а - одноступенчатая; б - одноступенчатая с рециркуляцией; в - двухступенчатая; г - двухступенчатая с рециркуляцией; д - двухступенчатая с биофильтрами с объёмной загрузкой на первой ступени и аэротенками на второй; е - двухступенчатая с биофильтрами с плоскостной загрузкой на первой ступени и аэротенками на второй; ж - то же, но без первичного отстаивания перед биофильтрами с плоскостной загрузкой; з - то же, но без вторичного отстаивания перед аэротенком; 1 - осветленные сточные воды после сооружений механической очистки; 2 - биологически очищенные сточные воды; 3 - избыточная биопленка; 4 - подача сточных вод на рециркуляцию; 5 - рециркуляционный активный ил; Б - биофильтр; Б-I - биофильтр первой ступени; Б-II - биофильтр второй ступени; БОЗ - биофильтр с объёмной загрузкой; БПЗ - биофильтр с плоскостной загрузкой; АЭР - аэротенк; ПО - первичный отстойник; ВО - вторичный отстойник; ТО - третичный отстойник; П - песколовки

Если концентрация загрязнений по БПК_{ПОЛН} > 300 мг/л применяется технологическая схема представленная на рисунке 4.4,б. По этой схеме часть биологически очищенной сточной воды отбирается после вторичного отстойника и подаётся перед биофильтрами и тем самым достигается требуемое разбавление воды, поступающей на биологическую очистку. Применение схемы с рециркуляцией сточной воды повышает эффективность работы очистных сооружений по БПК и позволяет снизить концентрацию аммонийного азота.

Для очистки сточных вод с высокой концентрацией органических загрязнений по БПК, содержащих трудно окисляемые загрязнения, следует применять двухступенчатые технологические схемы (рисунок 4.4, в, г, д). При этом на первой ступени используются биофильтры, а на второй - другие виды биологических окислителей, например аэротенки.

В последние годы в практике очистки сточных вод находят применение одно- и двухступенчатые схемы биологической очистки с использованием на первой ступени биофильтров с плоскостной загрузкой, на которые сточная вода поступает непосредственно после песколовок без первичного отстаивания (рисунок 4.4, ж).

4.4 Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров

Надежная работа биофильтра достигается 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 желобы или трубы и разбрызгиватели (спринклеры), к подвижным - качающиеся желобы, движущиеся наливные колеса и вращающиеся реактивные распределители (оросители). В практике наибольшее распространение получили спринклерное орошение и орошение с помощью подвижных оросителей.

Спринклерное орошение. Спринклерная система состоит из дозирующего бака, разводящей сети и спринклеров. Дозирующий бак автоматически подает воду в спринклерную сеть под постоянным напором. Продолжительность опорожнения бака (период орошения), зависящая в основном от вместимости бака и размеров выпускной трубы, всегда одинакова. Продолжительность наполнения бака зависит от притока сточных вод, который колеблется в течение суток. Поэтому орошение биофильтра производится периодически, через неравные по продолжительности интервалы. Во избежание сильного охлаждения не обогреваемых биофильтров интервал между орошением не должен превышать 5-8 мин.

Спринклеры - специальные насадки, надетые на концы стояков, которые ответвляются от водораспределительных труб, уложенных на поверхности или в теле биофильтра. Отверстия спринклерных головок обычно 19, 22 и 25 мм. Во избежание коррозии спринклеры изготавливают из бронзы или латуни.

Расчет водораспределительной системы сводится к определению расхода воды из каждого разбрызгивателя, определению необходимого их числа, диаметра разводящей сети, вместимости и времени работы дозирующего бака. Расчеты ведутся по максимальным расходам, поступающим в каждую секцию биофильтра; начальный свободный напор у разбрызгивателей принимается около 1,5 м, конечный - не менее 0,5 м; диаметр отверстий разбрызгивателей - 18-32 мм; период орошения при максимальном расходе - 5-6 мин.

Разбрызгиватели располагают так, чтобы площадь, орошаемая одним из них, частично перекрывала площади, орошаемые соседними разбрызгивателями. При расположении разбрызгивателей рядами орошаемая площадь составит 78,5% общей площади, а при расположении их в шахматном порядке - около 90% общей площади. Один из типовых насадков, применяемый в отечественной практике, показан на рисунке 4.5.

Трубы распределительной сети укладывают или на специальные столбы, или прямо на фильтрующую загрузку на глубине 0,5-0,7 м от поверхности биофильтра. В конце каждой трубы целесообразно иметь пробку, через которую можно было бы промыть трубопровод чистой водой. Спринклерные головки устанавливают обычно на 0,15-0,2 м выше поверхности загрузки биофильтра.

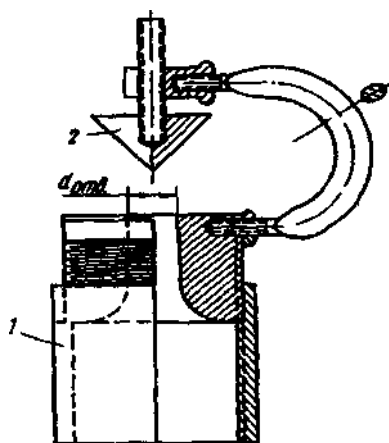


Рисунок 4.5 - Спринклерная головка: 1 - корпус; 2 - отражательный зонтик

Водоструйная система орошения. Водоструйная система орошения состоит из:

- магистрального трубопровода или лотка;
- разводящей сети или лотков;
- насадочных элементов цилиндрического, конического или коноидального типа с отверстиями диаметром 15-32 мм, расположенными на днище разводящих труб и лотков;
- водоотбойных круглых в плане розеток, имеющих плоскую или вогнутую сферическую форму с гладкими или фигурными кромками.

Водоотбойные розетки располагаются над поверхностью загрузочного материала или непосредственно на его поверхности; в первом случае они подвешиваются к разводящим трубопроводам или лоткам, а во втором - за-

крепляются на поверхности загрузки. Разводящая сеть располагается над поверхностью загрузочного материала на высоте 0,5-1 м.

Сточная вода из магистрального водовода поступает в разводящую сеть и через насадочные элементы изливается в виде струй на водоотбойные розетки. Ударяясь о розетку, струя воды разбивается на мелкие брызги, равномерно орошая поверхность загрузочного материала биофильтра.

Расчет водоструйной системы сводится к определению размеров разводящей сети, а также числа и диаметра отверстий насадочных элементов.

Реактивные вращающиеся водораспределители (оросители). Вращающийся ороситель состоит из двух, четырех или шести дырчатых труб, консольно закрепленных на общем стояке. Вода из распределительной камеры под напором поступает в стояк. Стояк может вращаться вокруг своей вертикальной оси. Из стояка вода поступает в радиально расположенные трубы и через отверстия в них выливается на поверхность биофильтра. Под действием реактивной силы, возникающей при истечении воды из отверстий, распределитель вращается. Такие реактивные оросители получили широкое распространение в отечественной и зарубежной практике.

Для приведения в действие реактивного оросителя необходим сравнительно небольшой напор (0,2 - 1 м). Кроме того, при реактивных оросителях отпадает необходимость в устройстве дозаторов. Диаметр отверстий в радиально расположенных трубах принимается равным 10-15 мм, расстояние между отверстиями увеличивается от периферии к центру, что обеспечивает более равномерное орошение биофильтра.

Расчет реактивного оросителя состоит в определении его размеров, числа распределительных труб, числа отверстий на распределительных трубах, расстояний между отверстиями, числа оборотов оросителя и напора воды, обеспечивающего необходимые скорости истечения воды из отверстий оросителя. Распределительные трубы реактивного оросителя располагаются на 0,2 м выше поверхности загрузочного материала.

4.5 Системы вентиляции биофильтров

В зависимости от типа и конструкции биофильтров различают два типа вентиляции биофильтров: естественную и искусственную.

Искусственная вентиляция используется в высоконагружаемых биофильтрах. Для других типов биофильтров искусственная аэрация применяется только для обеспечения необходимого воздухообмена внутри помещения, в котором размещается биофильтр, или поддержания требуемой температуры.

Для вентиляции высоконагружаемых биофильтров применяются вентиляторы низкого давления типа ЭВР или ЦЧ, обеспечивающие напор от 8 до 100 мм. Подбор вентилятора осуществляется на основании расчёта биофильтра при определении количества воздуха, определяемого по формуле:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{уд}} Q,$$

Q - среднесуточный расход сточной воды, м³/сут; $V_{уд}$ - удельный расход воздуха.

Перерывы в орошении аэрофильтров при сохранении продувки воздухом могут сопровождаться повышением температуры в теле фильтра до 50-60°C и появлением неприятного запаха, связанного с разложением отмирающей биопленки.

Биофильтр в основном обогревается сточной водой, поэтому при понижении ее температуры ниже 6°C целесообразно присоединять к водоотводящей сети трубопроводы условно-чистых тёплых конденсационных вод.

В связи с большой пористостью плоскостного загрузочного материала, возможно переохлаждение очищаемой сточной жидкости в зимний период в биофильтрах, установленных на открытом воздухе. Для поддержания аэробного режима работы биофильтра, достаточно поступления воздуха в количестве 20 м³/ч на 1 м² площади поверхности биофильтра, что достигается при установке в вентиляционных окнах биофильтра регулируемых жалюзийных решеток, экранов из сетчатых или тканых материалов.

Для предупреждения переохлаждения биофильтров в зимний период необходимо:

- установить противоветровую защиту;
- соорудить над биофильтром купольное перекрытие;
- снизить коэффициент неравномерности притока сточных вод.

Величина слоя биоплёнки оказывает влияние на условия равновесия вне биофильтра и внутри его при диффузионных потоках кислорода и углекислого газа. Поэтому при достаточно большом слое биоплёнки может наступить момент, когда потребление кислорода биопленкой прекратится. В этом случае в теле биофильтров могут начаться процессы гниения, опасность такого явления в наибольшей степени возникает в капельных биофильтрах.

4.6 Расчет и проектирование биофильтров

Капельные биофильтры в зависимости от расхода сточных вод и среднегодовой температуры воздуха размещают в неотапливаемых или отапливаемых помещениях, допустимое значение БПК_{полн} сточных вод, подаваемых на биофильтр, составляет 220 мг/л; гидравлическая нагрузка - 1-3 м³/(м²сут).

Расчет капельных биофильтров производится в такой последовательности:

- 1) определяется коэффициент K :

$$K = L_{en} / L_{ex},$$

L_{en}, L_{ex} - БПК_{полн} сточных вод, соответственно, поступающих и очищенных;

- 2) по среднезимней температуре сточной воды T и значению K по таблице 11.2 определяются высота биофильтра H и гидравлическая нагрузка q . Если полученное значение K превышает значения, приведенные в таблице 4.2

то необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией;

Таблица 4.2 - Параметры для расчета капельных биофильтров

Гидравлическая нагрузка, q , $M^3/(M^2 \cdot \text{сут})$	Значения K при температуре сточной воды T , °C			
	8	10	12	14
1	8,0/11,6	9,8/12,6	10,7/13,8	11,4/15,1
1,5	5,9/10,2	7,0/10,9	8,2/11,7	10,0/12,8
2	4,9/8,2	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.

2) по среднезимней температуре сточной воды T и найденному значению K определяют высоту биофильтра H , гидравлическую нагрузку q и расход воздуха $V_{уд}$ по таблице 4.3; для очистки без рециркуляции значения $H < 7$ и $V_{уд}$ следует принимать по ближайшему большему значению K , для очистки с рециркуляцией - по меньшему значению K .

Таблица 4.3-Параметры для расчета высоконагружаемых биофильтров

Высота биофильтра, H , м	Значение K при среднезимней температуре сточной воды T , °C							
	8		10		12		14	
	и гидравлической нагрузке q , $M^3/(M^2 \cdot \text{сут})$							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При $V_{уд} = 8$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	3,02	2,32	3,38	2,5	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,2	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,2	7,54	12,1	9,05
При $V_{уд} = 10$ м ³ на 1 м ³ 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 $V_{уд} = 12$ м ³ на 1 м ³ воды								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,98	5,97	4,31
3	7,25	5,01	8,35	5,55	9,9	6,35	11,7	7,2
4	12	7,35	14,8	8,5	18,4	10,4	23,1	12

3) по расходу очищаемых сточных вод Q , м³/сут, и гидравлической нагрузке q (м³/м²сут) определяется общая площадь биофильтров S , м²:

$$S = Q/q.$$

Биофильтры устраивают в виде отдельных секций. Число и размеры секций зависят от способов распределения сточной воды по поверхности и

условий их эксплуатации. Число секций должно быть не менее 2 и не более 6-8, все секции должны быть рабочими.

Расчёт высоконагружаемых биофильтров. Высоконагружаемые биофильтры, размещаются на открытом воздухе, высоту биофильтра назначают в зависимости от БПК_{полн} очищенной сточной воды, а гидравлическую нагрузку - в пределах 10-30 м³/м²сут. Допустимое значение БПК поступающих на биофильтр сточных вод - 300 мг/л.

Расчет высоконагружаемых биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент К;

При очистке сточных вод с рециркуляцией определяют допустимую БПК_{полн} смеси поступающей и рециркуляционной сточной воды, подаваемой на биофильтр, L_{mix}, мг/л, коэффициент рециркуляции K_{rc} и площадь биофильтров S:

$$S = KL_{ex}.$$

$$K_{rc} = (L_{en} - L_{mix}) / (L_{mix} - L_{ex})$$

$$S = Q (K_{rc} + 1) / q$$

Расчёт биофильтров с плоскостной загрузкой. Биофильтры с плоскостной загрузкой, как правило, размещают в закрытом помещении, высоту биофильтра назначают в зависимости от требуемой степени очистки. Допустимое значение БПК_{полн} поступающих сточных вод при полной биологической очистке 250 мг/л; при неполной очистке - не ограничивается. Гидравлическая нагрузка зависит от необходимой степени очистки и количества органических загрязнений в поступающей сточной воде.

Расчет биофильтров с плоскостной загрузкой ведется по БПК в такой последовательности:

1) в зависимости от требуемого значения БПК₅ очищенных вод L_{ex}, мг/л, (таблица 11.3) определяется критерийный комплекс:

$$\eta = P H R_T / F,$$

$$F = L_{en} q_n / S_{уд} = M / S_{уд},$$

q - гидравлическая нагрузка, м³/ (м³/сут); S_{уд} - площадь удельной поверхности загрузочного материала, м²/м³; M - нагрузка по БПК на 1 м³ объема биофильтра, г/(м³сут),

2) по заданной среднезимней температуре сточных вод T подсчитывается K_T, глубина слоя загрузки H назначается в зависимости от требуемой степени очистки, но не менее 3 - 4 м. Величина P определяется с учетом конструктивных размеров плоскостной загрузки F.

$$F = P H K_T / \eta,$$

3) по заданной величине $L_{ен}$ и $S_{уд}$ находится допустимая гидравлическая нагрузка q_n , $m^3 / (m^3 \text{сут})$

$$q_n = F_{S_{уд}} / L_{ен},$$

4) по заданному суточному расходу Q $m^3/\text{сут}$, и подсчитанной величине q_n определяется объем загрузочного материала биофильтра, а затем число биофильтров и их конструктивные размеры.

Для расчета биофильтров с плоскостной загрузкой составлены таблицы 4.4 и 4.5 (для блоков с пористостью 93-96 %); $S_{уд} = 90-110$ m^2/m^3 ; $L_{ен} = 200-250$ mg/l).

Таблица 4.4 - Допустимая гидравлическая нагрузка на биофильтры с плоскостной загрузкой

Необходимый эффект очистки, %	Гидравлическая нагрузка, $m^3 / (m^3 \cdot \text{загрузки, м сут})$, при высоте слоя							
	3				4			
	и среднезимней температуре сточной воды, C							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10	11	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15	16,4	17,9

Таблица 4.5 - Допустимая органическая нагрузка на биофильтр с плоскостной загрузкой

БПК ₅ очищенной воды, mg/l	Нагрузка по БПК ₅ $г / (m^3 \cdot \text{сут})$, при высоте слоя загрузки, м					
	3			4		
	и среднезимней температуре сточной воды, C					
	10-12	13-15	16-20	10-12	13-15	16-20
15	1150	1300	1550	1500	1750	2100
20	1350	1550	1850	1800	2100	2500
25	1650	1850	2200	2100	2450	2900
30	1850	2100	2500	2450	2850	3400
40	2150	2500	3000	2900	3200	4000

4.7 Конструирование биофильтров

Капельные биофильтры. Проектируются круглыми или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Верхнее дно представляет собой колосниковую решётку, нижнее - сплошное. Высота междонного пространства должна быть не менее 0,6 м. Дренаж биофильтров выполняется из железобетонных плит, половинок керамических труб, 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. Уклон нижнего дна к сборным лоткам принимается не менее 0,01; продольный уклон сборных лотков - не менее 0,005. Стенки биофильтров выполняются из сборного железобетона или кирпича и возвышаются над поверхностью загрузки на 0,5 м. Природными материалами для засыпки биофильтров являются щебень, гравий и галька. Загрузка биофильтров по высоте должна быть одинаковой крупности и только для нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м следует применять загрузку крупностью 70-100 мм. На рисунке 4.6 показан капельный биофильтр прямоугольной формы.

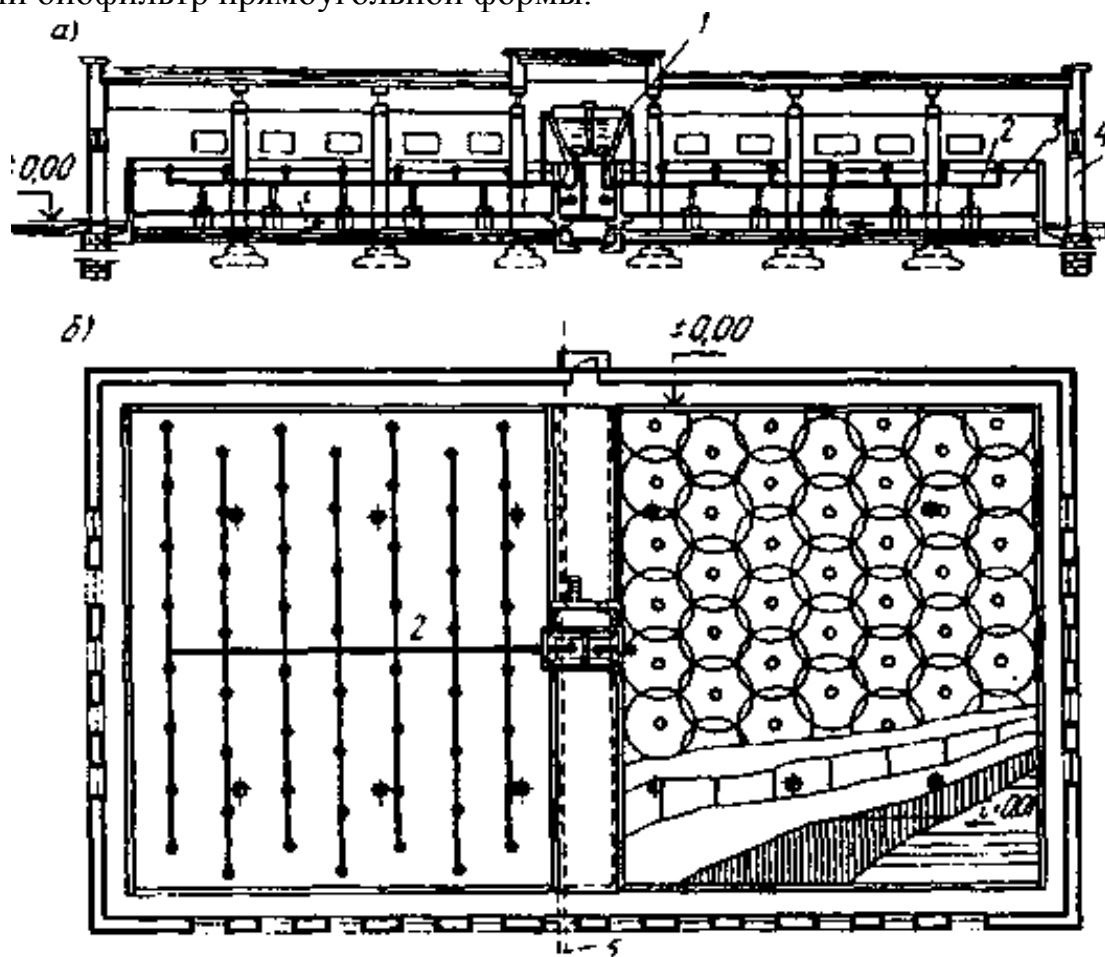


Рисунок 4.6 - Капельный биофильтр: а - поперечный разрез; б - план; 1 - дозирующие баки сточной воды; 2 - спринклеры; 3 - загрузочный материал; 4- стены биофильтра; 5 - подача сточных вод в биофильтр

Высоконагружаемые биофильтры. Конструктивными отличиями высоконагружаемых биофильтров (рисунок 4.7) являются большая высота слоя загрузки, большая крупность ее фракций и особая конструкция дна и дренажа, обеспечивающая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом. В закрытое междонное пространство вентилятором подается воздух. На отводных трубопроводах предусмотрены гидравлические затворы глубиной 200 мм.

Особенностями эксплуатации являются необходимость орошения всей поверхности биофильтра с возможно малыми перерывами в подаче воды и поддержание повышенной нагрузки по воде на 1 м² поверхности фильтра. Высоконагружаемые биофильтры применяются как для неполной, так и для

полной очистки сточных вод на очистных станциях пропускной способностью до 50 тыс. м³/сут.

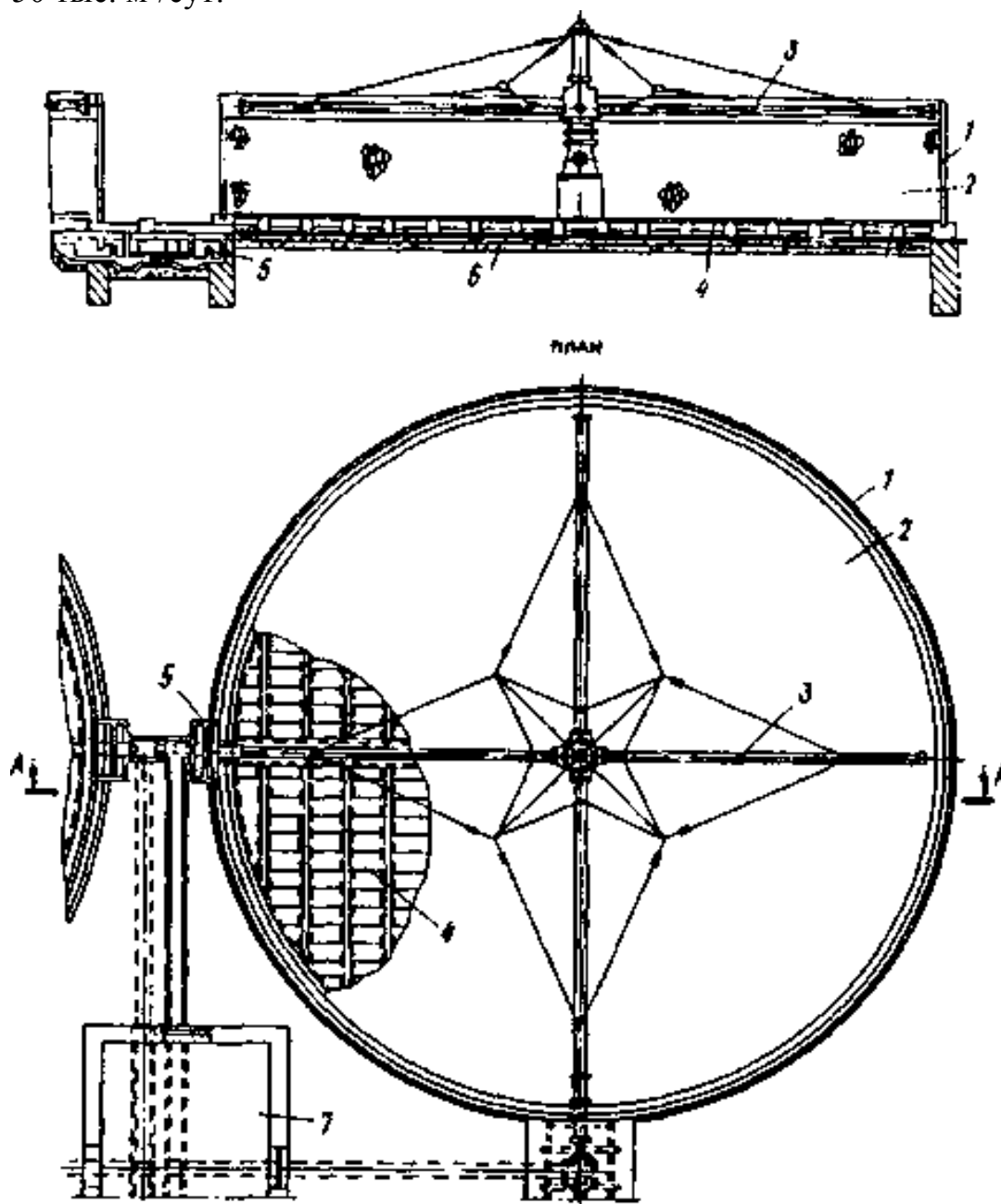


Рисунок 4.7 - Высоконагружаемый биофильтр: 1 - корпус; 2 - загрузка; 3 - реактивный ороситель; 4 - дренажная решетка; 5 - гидравлический затвор; 6 - сплошное днище; 7 - вентиляционная камера

Биофильтры с плоскостной загрузкой. Биофильтры с плоскостной загрузкой могут быть круглыми, многогранными или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Эти сооружения компактны, надежны в эксплуатации, не подвержены заилению, имеют малую энергоемкость. Высота слоя загрузочного материала 3-8 м, пористость 70-99%, удельная площадь поверхности 60-250 м²/м³, плотность 10-250 кг/м.

Небольшой объемный вес загрузочного материала позволяет использовать при монтаже этих сооружений легкие строительные конструкции. Биофильтры с плоскостной загрузкой могут применяться как самостоятельные сооружения биологической очистки сточных вод, а также ис-

пользоваться в качестве сооружений первой и других ступеней очистки в комплексе с другими биоокислителями. Возможно применение этих сооружений в технологической схеме очистки сточных вод без первичного отстаивания.

Сравнительные энергозатраты по изъятию БПК на различных сооружениях очистки представлены в таблице 4.6.

Опыт проектирования и эксплуатации биологических фильтров свидетельствует о том, что их целесообразно применять в качестве биологических окислителей при расходах сточных вод 10000 - 50000 м³/сут.

Таблица 4.6 - Удельные энергозатраты на очистку сточных вод в биофильтрах

Сооружение биохимической очистки	Энергозатраты КВт.ч/кг снятой БПК ₅
Объемная загрузка (гравийная и др.)	0,2-0,5
То же	0,75-0,77
Плоскостная загрузка	0,003-0,2
Дисковые (погружные)	0,25-0,4

Небольшие биофильтры следует размещать в утепленных помещениях, а биофильтры большой пропускной способности в зависимости от климатических условий можно размещать на открытом воздухе или под лёгкими купольными перекрытиями.

В практике проектирования биофильтры с объемной загрузкой применяются либо прямоугольной формы в плане с размерами сторон, м: 3x3; 3x4; 9x12; 12x12; 15x15; 12x18 с высотой слоя загрузки 2, 3 и 4 м, либо круглой диаметром, м: 6; 12; 18; 24 и 30 с высотой слоя загрузки 2, 3 и 4 м. Биофильтры с плоскостной загрузкой имеют проектные решения на пропускную способность 200 - 50000 м³/сут; биофильтры имеют круглую, прямоугольную и восьмигранную форму в плане с высотой слоя загрузки 3-6 м.

4.8 Методы интенсификации работы биофильтров

Основной целью интенсификации работы биологических фильтров является повышение их пропускной способности и эффективности очистки сточных вод. Перед реконструкцией необходимо: провести анализ работы всего комплекса очистных сооружений и отдельно биофильтров; осуществить экспертизу технического состояния биофильтров, включая конструктивную часть, загрузочный материал, состояние системы распределения, сбора и отведения воды; разработать мероприятия по реконструкции, дать их технико-экономическую оценку и выбрать оптимальный вариант.

Основными методами интенсификации биофильтров являются:

1. изменение технологической схемы работы всего комплекса сооружений;
2. замена объёмной загрузки на плоскостную;
3. изменение системы водораспределения сточных вод по поверхности загрузки биофильтра;
4. использование многоступенчатой схемы очистки в биофильтрах;

5. повышение ферментативной активности микроорганизмов за счёт воздействия ультразвуком.

На рисунке 14.8 представлены технологические схемы реконструкции станций биофильтрации. На схеме А вариант до реконструкции, схема Б и В соответственно одноступенчатая биологическая очистка с частичной и полной заменой объёмной загрузки на плоскостную с возможным увеличением слоя загрузочного материала. Схемы Г и Д предполагают перевод технологической схемы очистки на двухступенчатую и замену объёмной загрузки на плоскостную первой или обеих ступеней биофильтров.

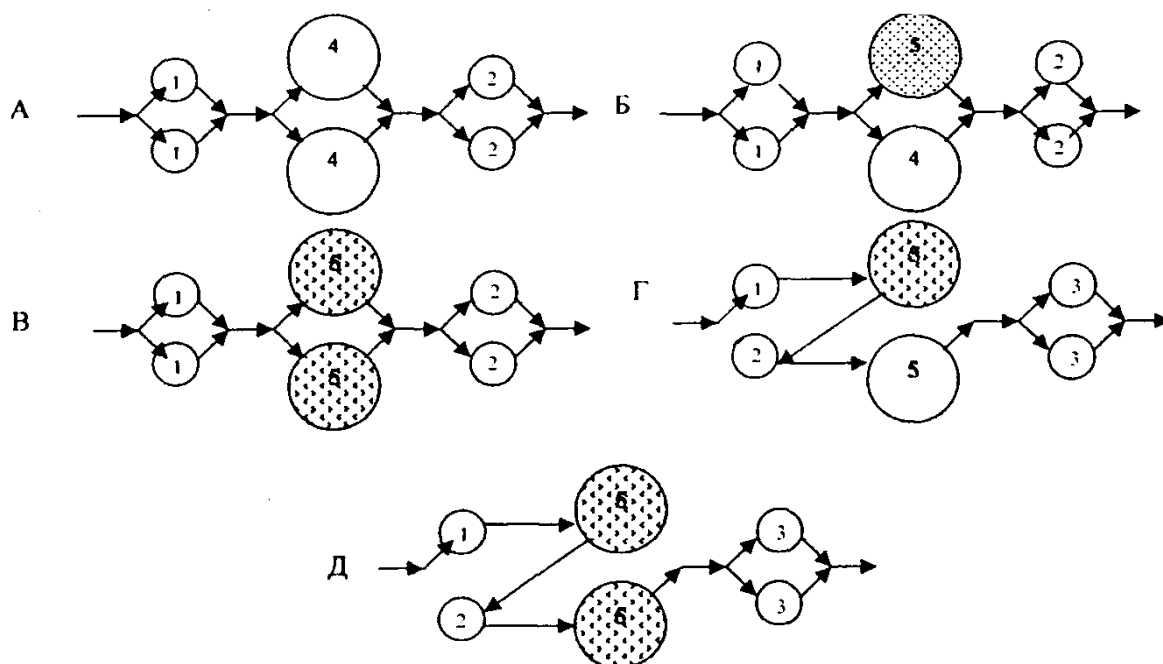


Рисунок 4.8 - Принципиальные схемы реконструкции станций биофильтрации: 1 - первичные отстойники; 2 - вторичные отстойники; 3 - третичные отстойники; 4 - биофильтр с объёмной загрузкой; 5 - биофильтр с плоскостной загрузкой

Реконструкция капельных биофильтров. Технологическая схема очистки сточных вод на капельных биофильтрах включает следующие сооружения: решетки; песколовки; двухъярусные отстойники; капельные биофильтры, вторичные вертикальные отстойники, контактные резервуары.

В отечественной практике наибольшее распространение получили капельные биофильтры прямоугольные в плане, размещенные в здании. Высота слоя загрузочного материала таких биофильтров составляет 2-3 м.

Возможные варианты интенсификации работы биофильтров.

Замена загрузочного материала. 1 вариант - реконструкция капельного биофильтра в высоконагружаемый.

Для этого необходимо увеличить высоту слоя загрузочного материала минимум до 2 м, установить низконапорные вентиляторы; подвести воздухопроводы к окнам в междонном пространстве; устроить в каналах на выходе из биофильтров гидравлические затворы для предотвращения утечки воздуха в атмосферу.

Пропускная способность биофильтра при этом может быть увеличена в 1,5-2,5 раза.

2 вариант - реконструкция капельного биофильтра в биофильтр с плоскостной загрузкой (рисунок 4.9).

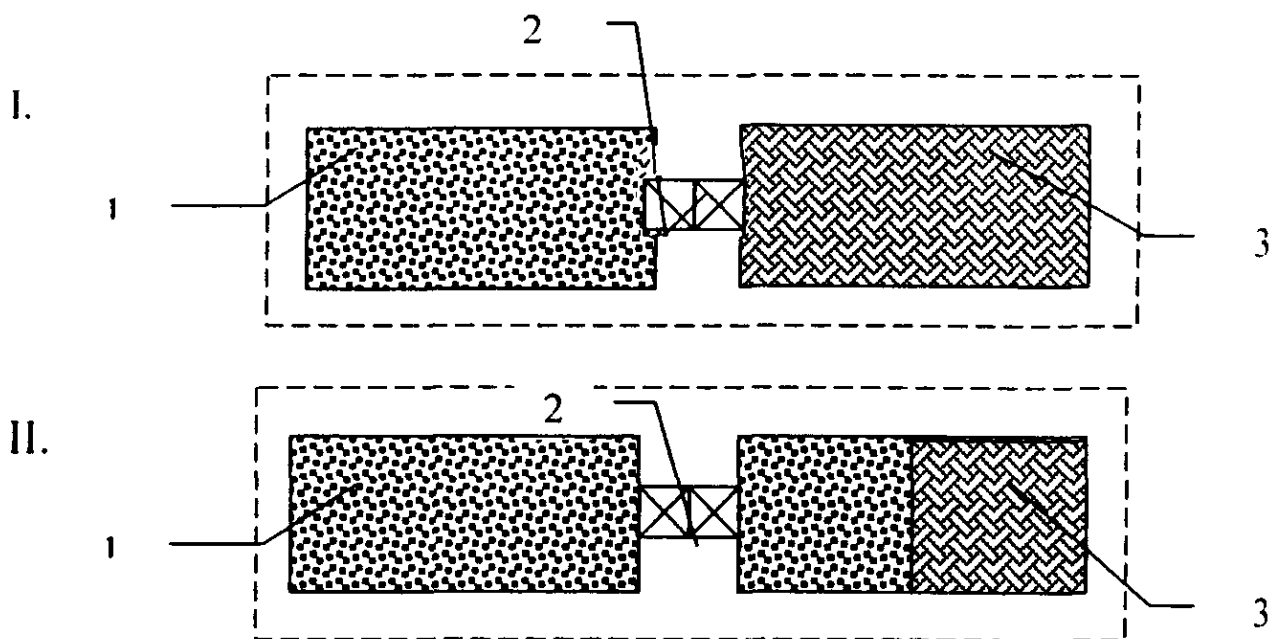


Рисунок 4.9 - Варианты реконструкции капельных биофильтров при замене объёмной загрузки на плоскостную: 1 - объёмная загрузка биофильтра; 2 - дозировочные баки; 3 - плоскостная загрузка

При замене объёмного загрузочного материала на плоскостной необходимо учитывать, что оптимальная высота плоскостной загрузки должна быть не менее 3-4 м. На рисунке 4.9 приведены возможные варианты реконструкции капельных биофильтров с заменой загрузки на пластмассовую.

Во всех случаях очистка сточных вод производится по двухступенчатой технологической схеме. При этом на первой ступени используется биофильтр с плоскостной загрузкой, а на второй ступени очистки остается капельный биофильтр. Вторая ступень биологической очистки должна обеспечить очистку сточных вод до требуемых показателей. Дополнительно для подачи сточной воды на вторую ступень очистки необходимо устройство насосной станции.

Метод реконструкции сооружений без увеличения высоты слоя загрузки биофильтра с плоскостной загрузкой не обеспечивает улучшения качественных показателей очищенной воды.

В результате реконструкции капельных биофильтров пропускная способность очистных сооружений увеличится в 4-6 раз.

Изменение технологической схемы работы капельных биофильтров. Движение сточной воды по очистным сооружениям после реконструкции осуществляется следующим образом: после песколовков сточная вода поступает непосредственно на биофильтры с плоскостной загрузкой без первичного отстаивания. Для биофильтра с плоскостной загрузкой используется часть капельного биофильтра с увеличением слоя загрузочного материала до 3-4 м.

После первой ступени очистки сточная вода насосами перекачивается в существующие двухъярусные отстойники и доочищается в капельных биофильтрах; после отстаивания во вторичном отстойнике и после дезинфекции очищенная вода сбрасывается в водоём.

Реконструкция высоконагружаемых биофильтров. Для интенсификации работы высоконагружаемых биофильтров и улучшения эффективности очистки сточных вод на очистных сооружениях можно применить несколько вариантов реконструкции.

Реконструкция высоконагружаемых биофильтров путём замены загрузки плоскостной. Для этого необходимо выполнить следующие работы: смонтировать новую водораспределительную систему; нарастить высоту стен биофильтра; заменить существующие лотки на каналы большей пропускной способности; переоборудовать систему подачи сточной воды на очистку; заменить водоотводные лотки к вторичным отстойникам.

Высота ограждающих конструкций высоконагружаемых биофильтров увеличивается до 3-4 м, в качестве плоскостного загрузочного материала возможно использовать рулонный загрузочный материал из гофрированного вторичного полиэтилена. Для орошения поверхности загрузочного материала целесообразно применить оросители струйного типа. Изменение технологической схемы работы высоконагружаемых биофильтров с заменой загрузочного материала. В данном случае рассматривается только реконструкция биофильтров с изменением технологической схемы очистки сточных вод (рисунок 4.10).

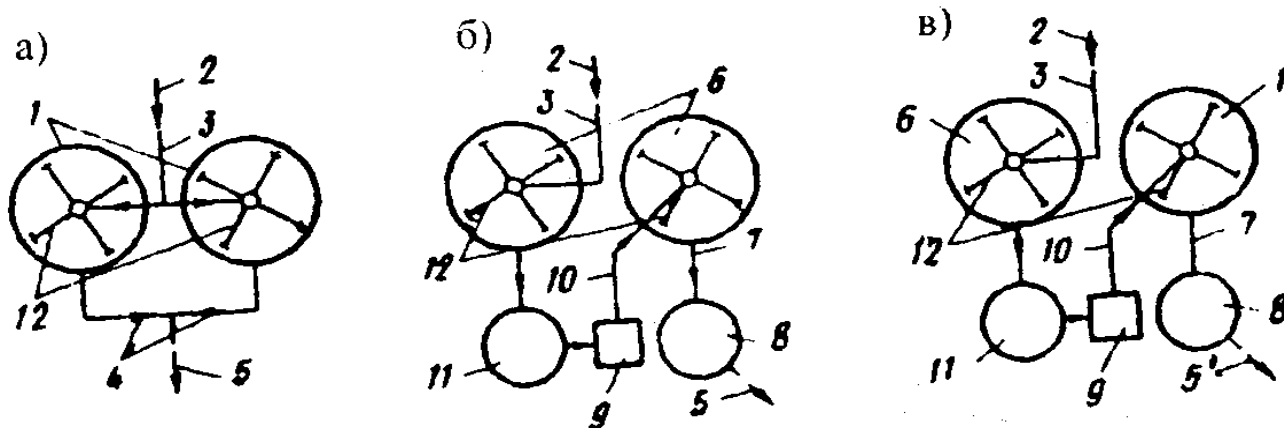


Рисунок 4.10 - Варианты реконструкции схем очистки: а - существующая схема очистки сточных вод; б - с полной заменой загрузочного материала в аэрофильтрах; в - с заменой загрузочного материала в одном из аэрофильтров: 1 - существующие аэрофильтры; 2 - подача неочищенной сточной воды; 3 - напорный трубопровод неочищенной сточной воды; 4 - трубопроводы очищенной воды после аэрофильтров; 5 - очищенная сточная вода; 6 - биофильтры с пластмассовой загрузкой; 7 - очищенная сточная вода на третичные отстойники; 8 - третичные отстойники; 9 - насосная станция; 10 - напорный трубопровод на вторую ступень биологической очистки; 11 - вторичный отстойник; 12 - реактивные оросители; 13 - биофильтр второй ступени очистки с пластмассовой загрузкой

Первый вариант. Реконструкция обоих аэрофильтров путем замены гравийной загрузки на плоскостную с работой их по одноступенчатой технологической схеме.

Второй вариант. Реконструкция всех биофильтров с заменой грузочного материала и работой их по двухступенчатой технологической схеме.

Третий вариант. Реконструкция одного из биофильтров с заменой грузочного материала. В этом случае работа сооружений также будет осуществляться по двухступенчатой схеме: на первой ступени работает биофильтр с плоскостной загрузкой, на второй - аэрофильтр, выполняющий дополнительную функцию биореактора глубокой очистки.

Для реализации второго варианта реконструкции потребуется строительство дополнительных отстойников после биофильтров с плоскостной загрузкой и насосной станции для перекачки осветленной воды после отстойников на вторую ступень в аэрофильтр.

5. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

5.1 Характеристики активного ила

В аэрационных сооружениях микробиальная масса пребывает во взвешенном в жидкости состоянии в виде отдельных хлопьев, представляющих собой зооглейные скопления микроорганизмов, простейших и более высокоорганизованных представителей фауны (коловратки, черви, личинки насекомых), а также водных грибов и дрожжей. Этот биоценоз организмов, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде, получил название *активного ила*. Доминирующая роль в нем принадлежит различным группам бактерий - одноклеточным подвижным микроорганизмам с достаточно прочной внешней мембраной, способным не только извлекать из воды растворенные и взвешенные в ней органические вещества, но и самоорганизовываться в колонии - хлопья, сравнительно легко отделимые затем от очищенной воды отстаиванием или флотацией. Размер хлопьев зависит как от вида бактерий, наличия и характера загрязнений, так и от внешних факторов - температуры среды, гидродинамических условий в аэрационном сооружении.

Хлопьеобразующая способность активного ила зависит главным образом от наличия питательных веществ: при слишком высоком их содержании происходят рассеивание колоний и появление нитчатых форм микроорганизмов; при их недостатке, хотя нитчатые формы микроорганизмов практически отсутствуют, размеры хлопьев ила уменьшаются и ухудшаются его седиментационные свойства. Бактерии имеют такую высокую скорость воспроизводства, что в условиях избыточного питания и отсутствия внешних сдерживающих их рост факторов 1 мг бактерий за 1 сут может привести к образованию десятков тонн живой микробиальной массы. Собственно на этой способности к быстрому размножению и, следовательно, высокой скорости потребления питательных веществ и основано использование биологических методов очистки сточных вод.

Роль других микроорганизмов и простейших в активном иле заключается в поддержании определенного равновесия видового и количественного состава ила, хорошо приспособленного к тем или иным условиям, господствующим в аэрационном сооружении, а также полноты протекания биохимических превращений, которым подвергаются органические соединения.

Способность клетки вырабатывать многообразие ферментов объясняет ее высокую адаптируемость к различным видам и концентрациям загрязнений, присутствующих в сточных водах.

По современным представлениям, *активный ил* - это скопление микроорганизмов, в которых клетки окутаны густой «паутиной» растворимых или слабо-растворимых внеклеточных полимерных образований, состоящих из полисахаров, протеинов, рибонуклеиновых и дезоксирибонуклеиновых кислот (РНК, ДНК), которые содержат много "ключевых" функциональных групп (карбокисильные, гидроксильные, сульфгидрильные), ведущих себя как анионные связующие площадки. Биохимическое и биофизическое взаимодействие между хлопьями ила и загрязнениями позволяет довольно быстро извлекать из воды и нерастворенные загрязнения за счет сорбции их активном илом, хотя они и не успевают

гидролизуются клеточным веществом. Суммарная поверхность микроорганизмов достигает 100 м^2 на 1 г сухого вещества ила, что объясняет огромную сорбционную способность ила и потребность в эффективном перемешивании содержимого бассейна. Однако основная масса изъятых таким образом мелкодисперсных и коллоидных загрязнений, не задержанных в первичных отстойниках, не гидролизуются и, следовательно, не окисляется активным илом, что приводит лишь к весовому увеличению массы ила в аэрационном сооружении.

Определяющими для технологического и конструктивного оформления процесса биологической очистки будут являться скорости изъятия загрязнений из очищаемой воды, т.е. собственно процесса очистки воды и скорости биохимического разложения изымаемых загрязнений. В этой связи представляют интерес основные закономерности развития колонии микроорганизмов, вводимой в контакт с жидкостью, содержащей питательные вещества, при достаточном обеспечении ее растворенным кислородом. В этом развитии можно выделить следующие фазы (рисунок 5.1):

I - лаг-фазу, или фазу адаптации, которая наблюдается сразу после введения микробной культуры в контакт с питательной средой и в которой практически не происходит прироста биомассы. Длительность этой фазы зависит от природы органических веществ, степени адаптированности микроорганизмов к ним, и от условий, в которые вносится микробная масса;

II - фазу экспоненциального роста (фазу ускоренного роста) микроорганизмов, в которой избыток питательных веществ и отсутствие продуктов обмена веществ способствуют поддержанию максимально возможной в данных условиях скорости размножения клеток, определяемой лишь биологической сущностью процесса их воспроизводства;

III - фазу замедленного роста, в которой скорость роста биомассы начинает сдерживаться по мере истощения питательных веществ и накопления продуктов метаболизма в культуральной среде;

IV - фазу нулевого роста (или прекращения роста), в которой наблюдается практически стационарное состояние в количестве биомассы, что свидетельствует о равновесии между наличием питательных веществ и накопленной биологической массой;

V - фазу эндогенного дыхания (или фазу самоокисления), в которой из-за недостатка питания начинаются отмирание и распад клеток, ведущие к снижению общего количества биомассы в биологическом реакторе.

Отмеченным фазам роста микробной массы соответствует и динамика изменения концентрации питательных веществ, выраженных через БПК, и, следовательно, можно сделать следующие весьма важные для технической реализации процесса заключения:

– при биологической очистке значительная часть загрязнений, содержащихся в сточных водах, трансформируется в биологическую массу или, иными словами, растворенные и инертные взвешенные органические вещества в результате метаболической активности микроорганизмов и сорбционной способности активного ила превращаются в биологическую массу, сравнительно легко отделимую от очищенной воды;

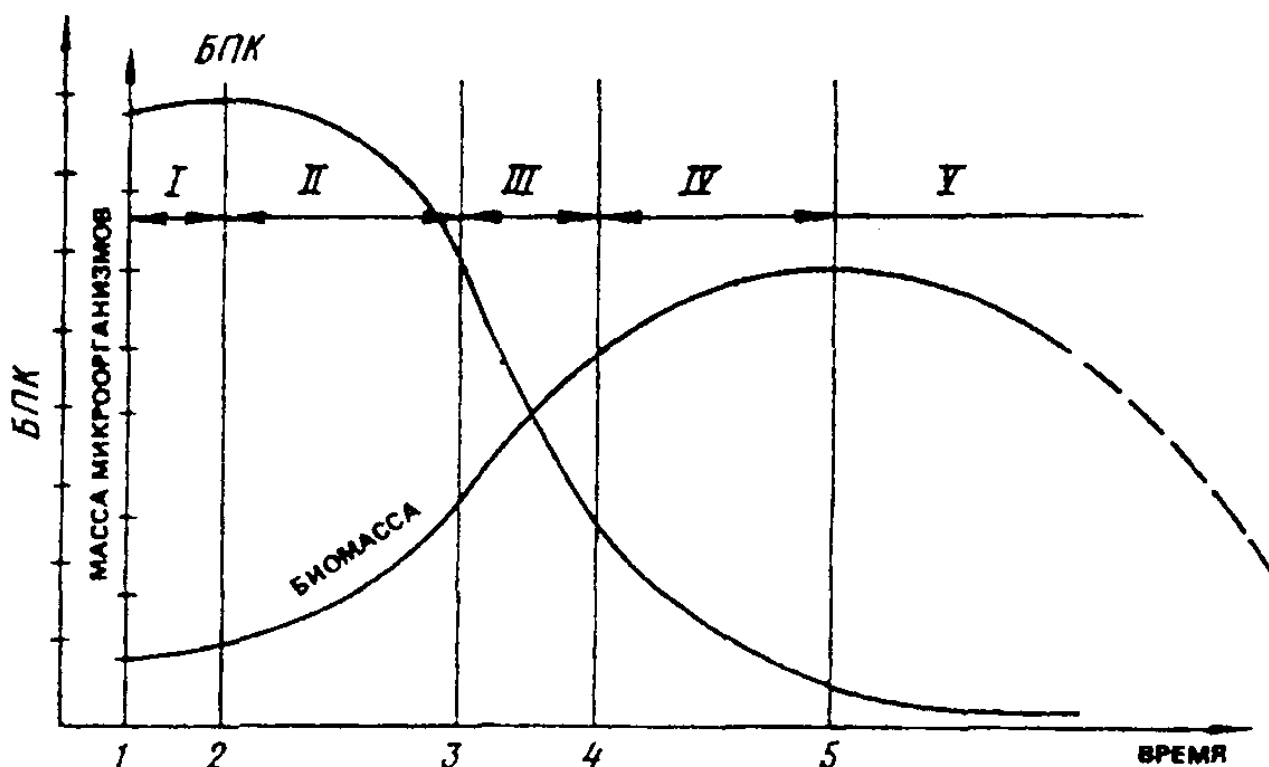


Рисунок 5.1 - Зависимость прироста биомассы в аэробных условиях от концентрации питательных веществ

– длительность изъятия и окисления содержащихся в сточной воде органических загрязнений будет тем короче, чем дольше масса микроорганизмов будет в контакте с ними;

– при уменьшении содержания органических веществ в очищаемой жидкости ниже определенного предела жизнедеятельность микроорганизмов продолжается, но уже либо за счет накопленных питательных веществ, либо за счет их собственной массы, т.е. отмирания и окисления микроорганизмов со снижением общей их массы (процесс самоокисления).

Микробиальная масса, подвергаясь воздействию фазы самоокисления, будучи введена снова в контакт с питательной средой, восстанавливает свою прежнюю метаболическую активность со значительной задержкой по сравнению с биомассой, не подвергавшейся этому воздействию.

Возраст микробиальной культуры оказывает существенное влияние на скорость биохимических процессов, протекающих в биологическом реакторе, и его поддержание в определенном диапазоне позволит обеспечить оптимальные условия развития биомассы для достижения поставленных технологических параметров изъятия и окисления органических загрязнений из сточных вод, поступающих в аэрационное сооружение.

Необходимый возраст микробиальной культуры, ее высокая метаболическая активность и хорошая седиментационная способность достигаются поддержанием лишь необходимого количества биомассы в аэрационном сооружении за счет выведения из него ее прироста и обеспечением соответствующей длительности контакта биомассы с загрязнениями.

Соотношение между количеством питания и массой микроорганизмов

в биологическом реакторе является важнейшей характеристикой, определяющей условия протекания в нем биохимических процессов. Применительно к аэрационным сооружениям эта характеристика получила название «нагрузки загрязнений на ил». Под ней понимается количество поступающих со сточной водой загрязнений, приходящееся на единицу массы ила в единицу времени. Выражается эта величина обычно в мг или г загрязнения (ХПК, БПК или любого другого загрязнения) на 1 г сухого вещества ила в 1 ч или в 1 сут.

Массу ила в аэрационном сооружении выражают через его концентрацию в иловой смеси в граммах сухого вещества ила в 1 л или в 1 м³ иловой смеси. Концентрацию активного ила, поддерживаемую в эксплуатационном режиме аэрационного сооружения, называют «дозой активного ила» a_i или "рабочей дозой". Среднюю нагрузку на активный ил, например, по загрязнениям, выраженным через БПК, можно представить как

$$q_i = L_{en} / a_i (1 - S) t_{at}$$

L_{en} - БПК поступающей в аэрационное сооружение сточной жидкости, мг/л или г/м³; S - зольность ила, доли единицы; a_i - доза ила, выражаемая в г/л, если БПК выражена в мг/л, и в г/м³, если БПК выражена в г/м³; t_{at} - длительность пребывания жидкости в аэрационном сооружении.

В биологически очищенной сточной воде может оставаться количество загрязнений, зависящее от глубины очистки сточной воды. При полной биологической очистке после отделения активного ила это количество составляет 12-20 мг/л по БПК_{ПОЛН}. Разница между поступающей в аэрационное сооружение и выходящей из него БПК_{ПОЛН} называется *снятой БПК_{ПОЛН}*. Ее отношение к массе ила и длительности аэрации называют *удельной скоростью изъятия загрязнений из очищаемой воды, т.е. скоростью очистки*. Последнюю выражают в мг или г БПК_{ПОЛН} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч

$$\rho_i = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - s) t_{at}$$

Нагрузка на ил носит скорее физический смысл и в определенной степени может иметь произвольный характер, удельная скорость изъятия загрязнений отражает биохимическую сущность процесса потребления загрязнений и их окисления активным илом, находящимся в тех или иных конкретных технологических условиях (нагрузка на ил тоже будет одним из этих условий). Удельная скорость изъятия загрязнений будет зависеть от химической природы этих загрязнений, их концентрации в сточной воде, нагрузки загрязнений на активный ил, требуемой глубины их изъятия, наличия веществ, угнетающих биохимические процессы, степени адаптированности активного ила к загрязнениям, подлежащим изъятию, температуры сточных вод, гидродинамических условий в аэрационном сооружении. Иными словами, *удельная скорость изъятия загрязнений - это то количество загрязнений, которое может быть снято 1 г беззольного вещества сухого ила в 1 ч в заданных*

условиях реализации процесса биохимической очистки. Значение этого параметра устанавливается экспериментальным путем.

Исходя из нагрузки на активный ил, аэротенк может быть охарактеризован как высоконагружаемый при нагрузках свыше 0,5 г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки, имеющий среднюю нагрузку при q_i в пределах 0,15-0,5 г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки и низконагруженный при q_i в пределах 0,065-0,15 г БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки. При нагрузках менее 0,065 г БПК на 1 г беззольного вещества ила имеет место так называемая «продленная аэрация», при которой происходит самоокисление определенного количества активного ила. Следовательно, в фазе II (см. рисунок 5.1) будут иметь место высокие нагрузки на ил, в фазе III - средние нагрузки, в фазе IV - низкие нагрузки и в фазе V - недогрузка ила и его самоокисление.

Средняя нагрузка на ил, и удельная скорость очистки могут поддерживаться на определенном уровне при соблюдении постоянства произведения $a_i t_{at}$, т.е. дозы ила на длительность его воздействия на загрязнения. Увеличивая дозу ила в сооружении и пропорционально сокращая длительность пребывания иловой смеси в аэрационном сооружении можно было бы соответственно уменьшить его объемы. Однако доза ила в аэрационном сооружении не может назначаться произвольно. Как живая биологическая система активный ил требует определенного объема, что становится очевидным, если ил оставить в покое и дать ему возможность оседания. В зависимости от таких факторов, как характер загрязнений, нагрузка на ил, доза ила, длительность отстаивания, занимаемый илом объем изменяется в довольно широких пределах. Для возможности сравнения значений этого показателя, полученных при различных технологических режимах, введено стандартизованное понятие *илового индекса* I_i - представляющего собой объем, мл, приходящийся на 1 г сухого вещества активного ила после 30-минутного отстаивания иловой смеси. Значение илового индекса зависит от концентрации активного ила в иловой смеси. *Иловый индекс характеризует седиментационную способность активного ила, т.е. предрасположенность ила к оседанию.* Поскольку после завершения процесса очистки воды активный ил должен быть отделен от очищенной воды, то способность иловой смеси к разделению на очищенную воду и активный ил имеет весьма важное значение.

В большинстве применяемых в настоящее время систем очистки в аэротенках процесс отделения активного ила осуществляется гравитационным путем, при котором активный ил осаждается на дно отстойного сооружения и несколько уплотняется, после чего может быть возвращен в аэрационное сооружение. Если ил будет плохо осаждаться в отстойных сооружениях, то его вынос с очищенной водой ухудшает качество очищенной воды, а в некоторых случаях не позволяет поддерживать в аэрационном сооружении требуемую дозу активного ила. Хорошо оседающий ил имеет иловый индекс от 60-90 до 120-150 мл/г в зависимости от технологического режима работы аэрационных сооружений и состава сточных вод. Как перегрузка, так и недогрузка активного ила по загрязнениям приводят к резкому увеличению илового индекса, назван-

ному «вспуханием» ила и повышенному выносу его с очищенной сточной водой. Следовательно, дозу ила следует рассматривать как оптимальную концентрацию активного ила в аэрационном сооружении, складывающуюся под воздействием различных факторов, характеризующих тот или иной технологический режим работы аэрационных сооружений, сооружений илоотделения. Доза ила в аэрационных сооружениях может колебаться в пределах 3-5 г/л - при продленной аэрации; 3-4 г/л - при низких нагрузках на ил; 2,5-3,5 г/л - при средних и 2-3 г/л - при высоких нагрузках.

Чем выше значение рабочей дозы ила в аэрационном сооружении, тем выше *окислительная мощность* этого сооружения. Под ней понимается количество загрязнений, снимаемых в единицу времени *массой активного ила, находящейся в единице объема сооружения*. Обычно *окислительную мощность выражают в килограммах снятых загрязнений, приходящихся на 1 м³ сооружения в сутки*. Можно сказать, что окислительная мощность сооружения это его пропускная способность по массе загрязнений при обеспечении заданного или возможного для данных условий эффекта очистки.

Математическое выражение этой величины представляет собой произведение дозы ила (в пересчете на беззольное вещество) на скорость очистки, т.е.

$$OC_{at} = 24a_i (1-S) \rho_i,$$

ρ_i - БПК_{ПОЛН} на 1 г беззольного вещества в 1 ч.

Окислительная мощность аэротенков может составлять от 0,3 кг БПК_{ПОЛН} до 2-3 кг БПК_{ПОЛН} на 1 м³ сооружения в зависимости от технологического режима его работы.

Важной характеристикой метаболической активности ила, является *возраст ила, под которым понимается средняя продолжительность его пребывания в сооружениях биологической очистки*. Поскольку часть потребляемых илом органических загрязнений идет на построение новых бактериальных клеток, активный ил развивается и его масса увеличивается. Это увеличение называется приростом ила и его, как и дозу ила, выражают в единицах концентрации, в мг/л или г/л. Поскольку в аэротенке может поддерживаться лишь определенная для данных условий концентрация ила, то прирастающая масса ила должна своевременно удаляться из системы биологической очистки. В противном случае она будет выноситься с потоком очищенной воды, ухудшая качество очистки. Эту массу ила называют *избыточным активным илом* в отличие от массы ила, возвращаемой из сооружения илоотделения в аэрационный резервуар и получившей название *циркуляционного активного ила*. Постоянный прирост и удаление избыточного ила из системы биологической очистки постепенно обновляют иловую массу в аэрационном сооружении. Чем выше прирост ила, тем больше количество избыточного активного ила, и, следовательно, тем быстрее обновляется ил и тем меньше его возраст.

При слишком высокой продолжительности пребывания ила в биологической системе в нем может оказаться высокой и доля минерализован-

ного ила или ила, подвергшегося самоокислению. Это приведет к снижению его метаболической активности. Напротив, при слишком низкой продолжительности пребывания ила в биологической системе в нем может оказаться относительно высокой доля «неактивной», механически включенной в ил и не ассимилированной им массы загрязнений, что также вызовет снижение его метаболической активности.

Приемлемая степень метаболической активности ила обеспечивается при его возрасте в 2-5 суток.

Эффективность работы аэрационных сооружений оценивается такими показателями, как степень очистки по БПК_{ПОЛН} (ХПК), прирост ила, остаточные концентрации в очищенной воде БПК_{ПОЛН}, азота аммонийного, нитритов, нитратов, соединений фосфора или какого-либо конкретного загрязнения, взвешенных веществ после отделения ила. Оценка проводится на основе лабораторных анализов по определению качества поступающей в сооружения биологической очистки и выходящей из них сточной воды по всем показателям, а также по определению дозы ила, концентрации растворенного кислорода, температуры, рН.

Работа аэрационных сооружений оценивается также такими энергетическими показателями, как расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений, например, кВт·ч на 1 кг БПК_{ПОЛН} (или ХПК); расход энергии или воздуха на очистку 1 м³ сточной воды.

5.2 Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках

Сооружения биологической очистки играют значительную роль в предотвращении антропогенного загрязнения природных водоемов. По объему очищаемых сточных вод и массе перерабатываемых загрязняющих веществ эти сооружения являются наиболее мощным защитным экраном для естественных процессов самоочищения в водоемах.

Обычно аэротенк - это резервуар прямоугольного сечения, по которому протекают сточные воды, смешанные с активным илом. Воздух, вводимый с помощью пневматических или механических устройств, перемешивает обрабатываемую жидкость с активным илом и насыщает ее кислородом, необходимым для жизнедеятельности бактерий, простейших и многоклеточных животных.

Схема реализации биологического процесса очистки сточной воды в проточном режиме в аэротенках с возвратом ила из вторичных отстойников и выведением избыточного ила на обработку получила название классической аэрации.

Эта схема включает аэрационные и отстойные сооружения, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточных вод по аэротенкам, сбора и подачи иловой смеси на илоотделение, отведения очищенной воды, обеспечения возврата в аэротенки циркуляционного активного ила и удаления избыточного ила, подачи и распределения воздуха в аэротенках (рисунок 5.2).

По этой схеме активный ил подается сосредоточенно на вход в аэротенк, туда же подается и подлежащая биологической очистке сточная вода после

первичного отстаивания. В результате смешения воды и активного ила образуется иловая смесь. В процессе ее движения к выходу из аэротенка обеспечивается необходимая для протекания биохимических реакций длительность контакта активного ила с загрязнениями. Наиболее часто аэротенк устраивается в виде прямоугольного резервуара, разделенного продольными перегородками на отдельные коридоры шириной 4-9 м, по которым иловая смесь протекает от входа в аэротенк к выходу из него при постоянном перемешивании и обеспечении кислородом воздуха. Пребывание иловой смеси в отстойных сооружениях приводит к ее разделению под действием гравитационных сил на биологически очищенную воду и активный ил, оседающий и уплотняющийся в нижней иловой части отстойного сооружения. Концентрация ила в ней за время разделения иловой смеси может достигать 6-10 г/л по сухому веществу в зависимости от концентрации ила в поступающей иловой смеси, условий отстаивания и конструктивных особенностей отстойного сооружения.

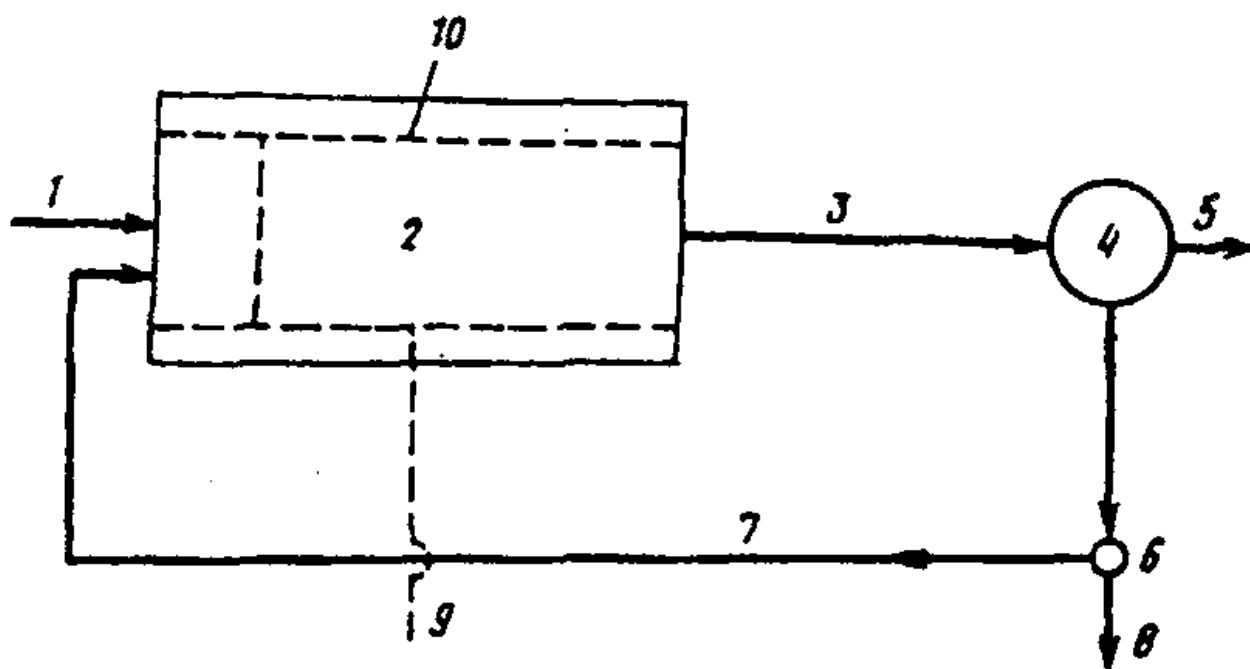


Рисунок 5.2 - Схема классической аэрации: 1 - сточная вода после первичных отстойников; 2 - аэротенк; 3 - иловая смесь из аэротенков; 4 - вторичный отстойник; 5 - очищенная вода; 6 - иловая камера; 7, 8 - циркуляционный и избыточный активный ил соответственно; 9 - воздух из воздуходувок; 10 - аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке

Поскольку концентрация ила из отстойных сооружений в 2-4 раза выше дозы ила, поддерживаемой в аэротенке, то циркуляционный расход может составлять 30-60 % расхода поступающей на очистку сточной воды.

Конструкции применяемых аэротенков подразделяются по способу подачи сточных вод и их потоку на три основных типа: вытеснители, смесители с рассредоточенной или центральной подачей и выпуском сточных вод и аэротенки промежуточного типа.

Аэротенки-вытеснители по гидравлическому режиму движения иловой смеси вдоль сооружения напоминают вытеснитель, где более ранняя порция иловой смеси вытесняется вновь поступившей (рисунок 5.3).

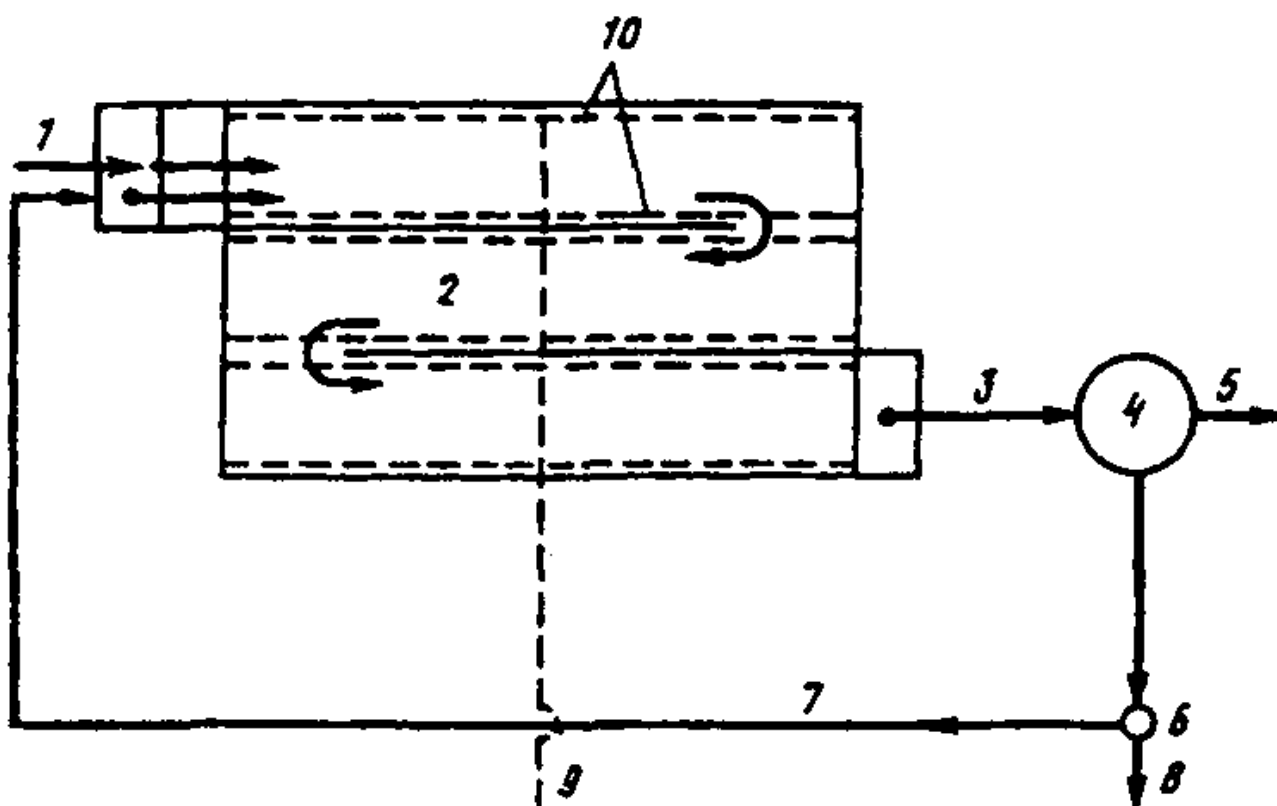


Рисунок 5.3 - Аэротенк-вытеснитель: 1 - сточная вода после первичных отстойников; 2 - аэротенк; 3 - иловая смесь из аэротенков; 4 - вторичный отстойник; 5 - очищенная вода; 6 - иловая камера; 7,8- циркуляционный и избыточный активный ил соответственно; 9 - воздух из воздуходувок; 10 - аэрационная система для подачи и распределения воздуха в аэротенке

У этого типа сооружений нагрузка загрязнений на активный ил с максимальной у входа в аэротенк постепенно снижается до практически нулевого ее значения на выходе по мере снижения БПК сточной жидкости до минимально возможных ее значений при полной биологической очистке и некоторого роста дозы ила, в соответствии с нагрузкой на ил снижается и потребность активного ила в кислороде, значение которой у входа в аэротенк существенно выше, чем на выходе из него.

Из-за колебаний расхода сточной жидкости, поступающей на очистку, сравнительно медленной скорости продольного движения иловой смеси и достаточно высокой интенсивности аэрации иловой смеси в аэротенке происходит продольное перемешивание ранее поступивших порций жидкости с более поздними, в результате чего нарушается сходство с режимом идеального вытеснения. Это нарушение будет существеннее, чем ниже скорость продольного движения жидкости в аэротенке, т.е. чем шире аэротенк и, чем он короче.

Изымаемые из сточной жидкости загрязнения проходят полный цикл ме-

табалических превращений в одном и том же сооружении с момента изъятия их активным илом до момента введения ила в очередной контакт с загрязнителями после возврата его в аэротенк из вторичного отстойника. В случае присутствия в сточной воде токсичных или других ингибирующих биологические процессы веществ активный ил циклически подвергается их шоковому воздействию при очередном возврате его в аэротенк.

Потребность в перемешивании иловой смеси для поддержания ила во взвешенном состоянии остается практически постоянной по всей длине аэротенка, что не позволяет полностью использовать окислительную способность подаваемого в аэротенк воздуха и отрицательно сказывается на энергетических показателях работы аэротенка.

В отличие от классической схемы существует ряд модификаций, где с целью повышения качества очистки, создания благоприятного кислородного режима, снижения энергозатрат осуществляется ступенчатое регулирование подачи воздуха по длине аэротенка. Такая ступенчатость позволяет поддерживать концентрацию растворенного кислорода на минимально возможном с точки зрения протекания биологических процессов уровне, избегая как недостатка кислорода, так и его избытка по всей длине аэротенка. Эта схема обеспечивает благоприятный кислородный режим, по ней работают широко применяемые в настоящее время аэротенки-вытеснители с пневматической системой аэрации.

Другой модификацией классической схемы является применение продольного секционирования аэротенков поперечными перегородками, не достигающими либо до дна, либо до противоположной стены (рисунок 5.4). Секционирование позволяет практически исключить продольное перемешивание иловой смеси в аэротенке и обеспечить более полное приближение технологического режима работы аэротенка к режиму идеального вытеснителя и более строго поддерживать заданный режим аэрации в пределах каждой секции, а, следовательно, обеспечить стабильное качество очистки на выходе из аэротенка.

Наиболее существенные отличия от классической схемы биологической очистки в аэротенках имеют модификации, ставящие задачу либо приспособления аэротенков к стадийности биологического процесса очистки, либо создания в них одинаковых по объему или по длине аэротенка условий с точки зрения нагрузки на активный ил или кислородного режима.

Изъятие из очищаемой жидкости растворенных или взвешенных загрязнений активным илом происходит значительно быстрее, чем последующее их окисление. Деление на такие стадии процесса очистки носит условный характер, поскольку практически невозможно разграничить эти фазы, тем более, что и сам процесс изъятия носит ферментативный характер, особенно в отношении растворенных органических веществ. Поэтому представляется целесообразной организация отдельного протекания этих стадий процесса в условиях, оптимальных для каждой из них, что обеспечит повышение эффективности работы аэротенков в целом.

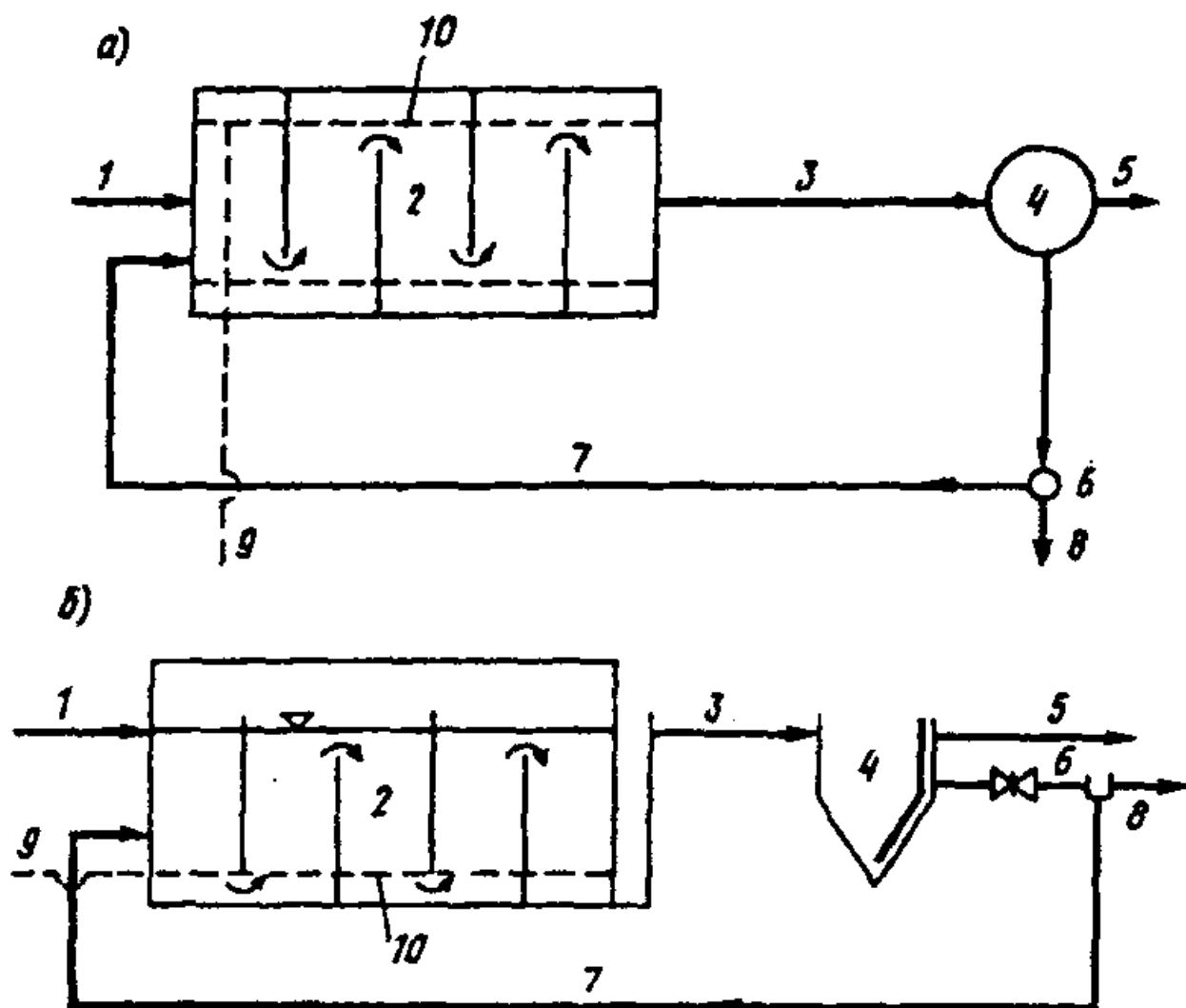


Рисунок 5.4 - Продольное секционирование аэротенков поперечными перегородками: а - не достигающими до противоположной стены; б - поочередно не достигающими до дна и до уровня воды в аэротенке

Технологическая суть такой модификации заключается в том, что после извлечения загрязнений из сточной воды в собственно аэротенках активный ил с накопленными в нем загрязнениями отделяется от очищенной воды и подается не в аэротенк, а в специальное аэрационное сооружение, называемое регенератором, в котором активный ил аэрируется в течение определенного времени без сточной жидкости. В регенераторе ил освобождается от накопленных им в аэротенке загрязнений и восстанавливает свою метаболическую активность. Регенерированный ил направляется затем из регенератора в собственно аэротенк для нового контакта с очищаемой жидкостью и повторения цикла изъятия из нее загрязнений. В конструктивном отношении регенераторы ничем не отличаются от аэротенков и могут устраиваться в виде как отдельно стоящих сооружений, так и емкостей, выделяемых в объеме аэротенков (рисунок 5.5).

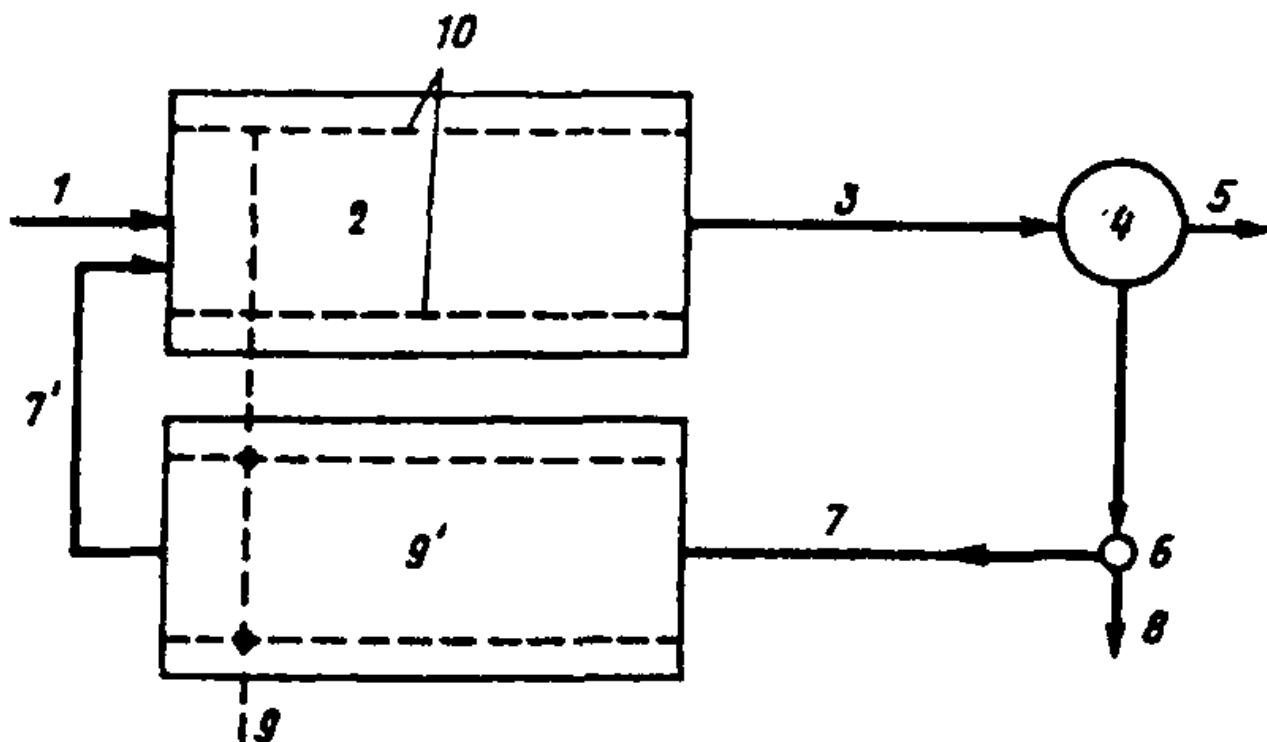


Рисунок 5.5 - Аэротенк с регенерацией активного ила: 7¹ - регенерированный активный ил; 9'- регенератор ила

В аэротенке обеспечивается контакт активного ила с загрязнениями такой длительности, которой достаточно только для изъятия загрязнений из очищенной воды, составляющей примерно 1,5-2,5 ч аэрации в зависимости от характера загрязнений сточных вод и условий реализации процесса. Режим аэрации здесь направлен на создание условий, наиболее благоприятных для доступа активного ила к загрязнениям. Концентрация растворенного в жидкости кислорода поддерживается в пределах 0,5-2,0 мг/л. Скорость потребления кислорода здесь значительно более высокая, чем в регенераторе, поскольку в аэротенке протекают более быстрые процессы первичной трансформации загрязнений при их изъятии из очищенной воды.

Длительность пребывания ила в регенераторе значительно больше длительности аэрации в аэротенке, хотя суммарная длительность изъятия и окисления загрязнений остается той же, что и при реализации процесса по классической схеме. Однако концентрация ила в регенераторе в 2-2,5 раза выше, чем в аэротенке, поскольку ил в него направляется прямо из отстойных сооружений без подачи сточной жидкости. Это позволяет на 15-20% уменьшить суммарный объем аэрационных сооружений по сравнению с объемом при осуществлении процесса очистки только в аэротенке.

Длительность пребывания ила в регенераторе должна быть достаточной для достижения требуемой глубины окисления загрязнений, она определяется специальным расчетом, основывающимся на учете удельной скорости окисления загрязнений. Требующийся объем регенераторов, выраженный в % от суммарного объема аэротенков и регенераторов, получил название "*процента регенерации*".

Для обеспечения 50% регенерации можно выделить под регенератор либо 2

коридора 4 - коридорных аэротенков, либо 1 коридор 2 - коридорных аэротенков. Поскольку типовые аэротенки разработаны в виде 2,-3-, 4-коридорных, то в них можно обеспечить 25, 33, 50, 66, 75% регенерации, выделяя от 1 до 3 коридоров аэротенка под регенерацию.

Другой альтернативной аэротенку-вытеснителю модификацией являются аэротенки-смесители, обеспечивающие *относительное постоянство условий, в которых находится активный ил*. В основу этой модификации положена идея о том, что порция сточной жидкости, подлежащей очистке, должна быть быстро распределена в как можно большем объеме аэротенка. Это приведет к тому, что все зоны аэротенка будут содержать одинаковую смесь загрязнений, подвергшихся различной степени воздействия активного ила. Выходящая из аэротенка жидкость может содержать в таком случае и мельчайшие частицы практически не окисленных загрязнений. Однако, при правильно рассчитанном объеме сооружения и достаточной степени перемешивания возможность проскока существенных порций неочищенной жидкости сводится к минимуму, и качество очистки в таком сооружении не уступает качеству очистки в аэротенке-вытеснителе. Главное преимущество этих сооружений заключается в возможности сглаживания залповых или шоковых нагрузок на активный ил, которые могут быть при работе аэротенка в режиме вытеснителя, в случае высоких концентраций загрязнений или наличия токсичных веществ в поступающей на очистку сточной воде. Возможность исключения проскока достигается равномерным распределением поступающей в аэротенк жидкости и ила, а также интенсивным перемешиванием всего содержимого аэротенка и равномерным отводом иловой смеси из него. При длинных аэротенках на крупных очистных сооружениях это обеспечивается не торцевым подводом воды и ила, а впуском их вдоль продольной стены аэротенка и сбором иловой смеси вдоль противоположной стены. Хорошие условия для эффективного смешения на сравнительно небольших очистных сооружениях создаются в квадратных или круглых в плане аэрационных зонах с подводом сточной воды и ила в центр зоны и периферийным сбором и отводом иловой смеси (рисунок 5.6).

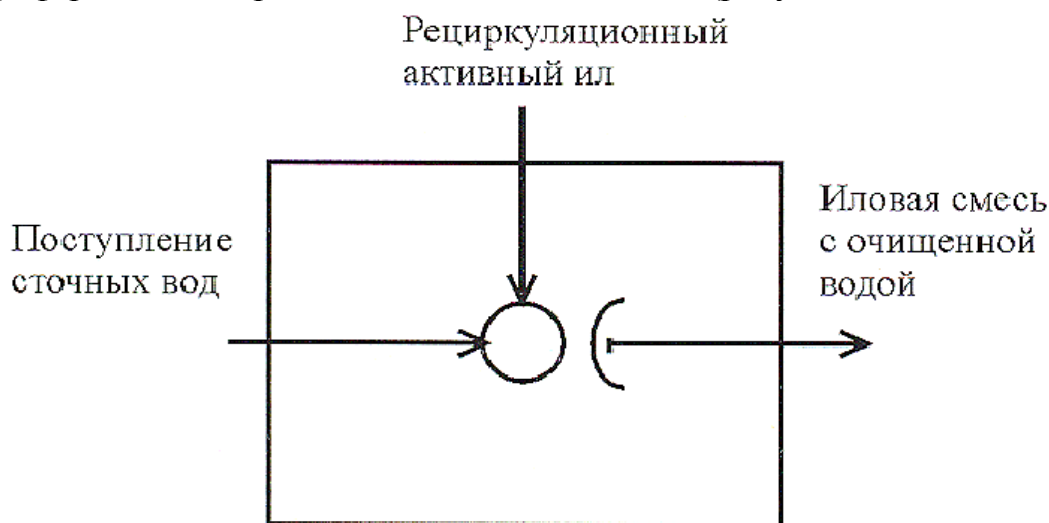


Рисунок 5.6 – Схема аэротенка-смесителя с центральным подводом сточных вод и ила в аэрационную зону

Модификацией, занимающей промежуточное положение между аэротенками-вытеснителями и аэротенками-смесителями, являются аэротенки с рассредоточенной подачей воды. В этих сооружениях в определенной степени сочетаются преимущества аэротенка-вытеснителя, обеспечивающего высокое качество очистки, с достоинствами аэротенка-смесителя, позволяющего усреднить нагрузку на активный ил вдоль сооружения.

В аэротенках, работающих по схеме рассредоточенной подачи воды (рисунок 5.7), активный ил подается сосредоточенно в торец головной части аэротенка, а сточная вода вводится в нескольких точках аэротенка вдоль продольной стены. Выпуск иловой смеси осуществляется в конце аэротенка.

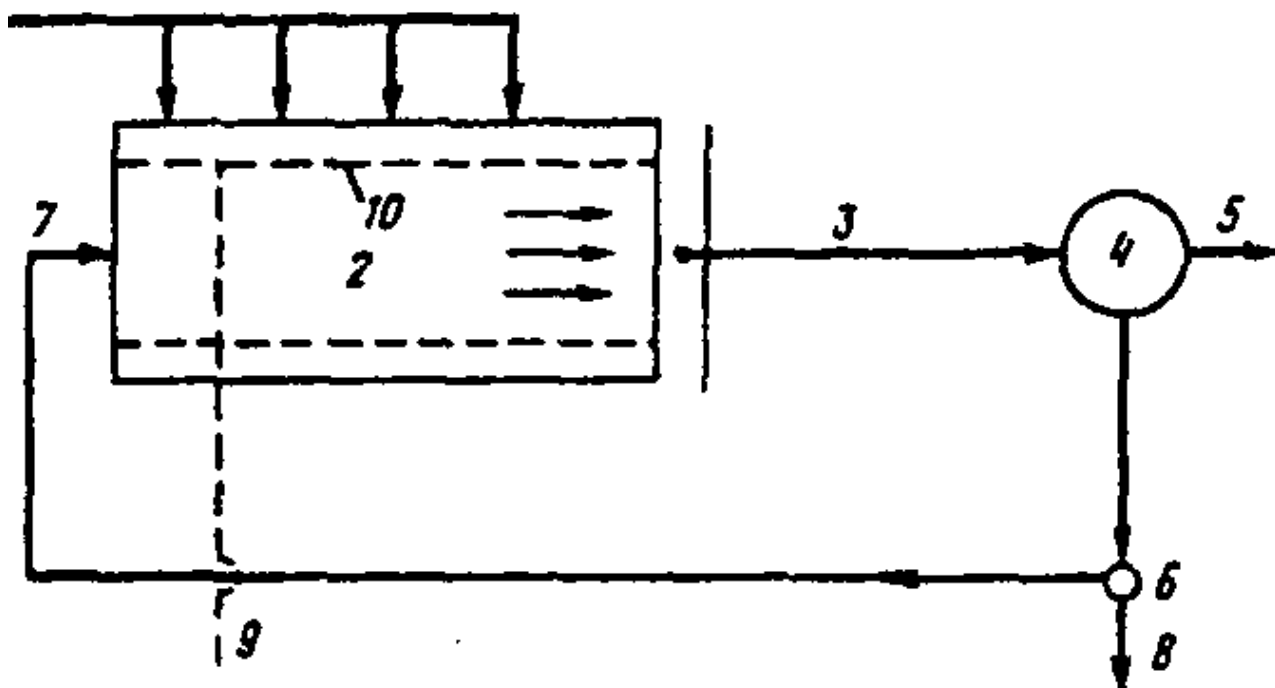


Рисунок 5.7 - Аэротенк с рассредоточенным впуском воды на очистку

В этой модификации могут применяться и переменная по длине аэротенка аэрация, и продольное секционирование аэротенка, а при необходимости и введение регенерации активного ила в головной части аэротенка за счет удаления от входа в аэротенк первой точки впуска сточной жидкости. При этом аэротенк функционирует по схеме вытеснителя.

Критерием, обуславливающим характеристики аэротенка, является гидравлическая схема его функционирования. В соответствии с ней можно классифицировать аэротенки на:

- аэротенки-вытеснители - сооружения с сосредоточенным впуском воды и активного ила в них со снижающейся нагрузкой на активный ил вдоль сооружения;
- аэротенки с рассредоточенным вдоль сооружения впуском очищаемой воды и сосредоточенным впуском активного ила в них при циклически изменяющейся вдоль сооружения нагрузке на активный ил;
- аэротенки-смесители - сооружения с одинаковой нагрузкой на ил по всему

объему сооружения. Схема впуска воды и ила в него (сосредоточенная или рассредоточенная) определяется конструктивными особенностями сооружения, обеспечивающими оптимальные условия для полного и возможно более быстрого смешения очищаемой воды и активного ила.

Различают также аэротенки проточного и контактного режимов действия с пневматической или механической системой аэрации.

При наличии высоких концентраций загрязняющих веществ или веществ с резко разняющимися скоростями их биохимического окисления, прибегают к устройству двух, а иногда и трех ступеней биологической очистки, и очищаемая вода проходит последовательно через каждую из них. Каждая ступень имеет свою замкнутую систему циркуляционного активного ила; избыточный же ил может удаляться как из каждой ступени, так и только из последней ступени аэротенков. Практически всегда в качестве аэротенков второй и третьей ступени применяются аэротенки-вытеснители для обеспечения постоянства качества очистки. Аэротенки-смесители более эффективны на первой ступени для снятия основной массы загрязнений при более низкой степени очистки. При БПК_{полн} поступающей сточной воды до 300 мг/л целесообразно применение аэротенков-вытеснителей. Введение в них отделений регенерации активного ила предусматривается при концентрациях БПК_{полн} выше 150 мг/л. При таких же концентрациях загрязнений могут применяться и аэротенки с рассредоточенным впуском воды.

При концентрациях загрязнений, оцениваемых БПК_{полн}, свыше 300 мг/л, более целесообразным является применение аэротенков-смесителей. Чем выше исходная концентрация загрязнений, тем выше экономическая целесообразность их применения, особенно в качестве первой ступени при двух- или трехступенчатой биологической очистке.

В рассмотренных схемах работы аэротенков очистка сточных вод осуществляется за счет перевода значительной части загрязнений в форму прироста ила. Если аэробная стабилизация ила осуществляется в аэротенках, то аэротенки называют аэротенками продленной аэрации, а режим их работы продленной аэрацией. Если же аэробная обработка ила осуществляется в отдельных резервуарах типа регенераторов, то она называется аэробной минерализацией. Длительность пребывания избыточного активного ила в аэробных стабилизаторах составляет 7-12 сут. В регенераторах циркуляционный активный ил освобождается от накопленных в аэротенке загрязнений, а в аэробных минерализаторах - избыточный активный ил подвергается самоокислению. После минерализации активный ил сравнительно легко обезвоживается и подсушивается. Аэробная минерализация, как в аэротенках продленной аэрации, так и в отдельных минерализаторах, находит применение лишь на небольших очистных сооружениях. Это объясняется простотой реализации метода аэробной обработки и достаточно высокими строительными и энергетическими затратами на подобную обработку ила.

Процессы, связанные с изъятием и окислением органических веществ в аэротенках, схематически представлены на рисунке 5.8 в виде кривых, соответствующих каждому этапу очистки.

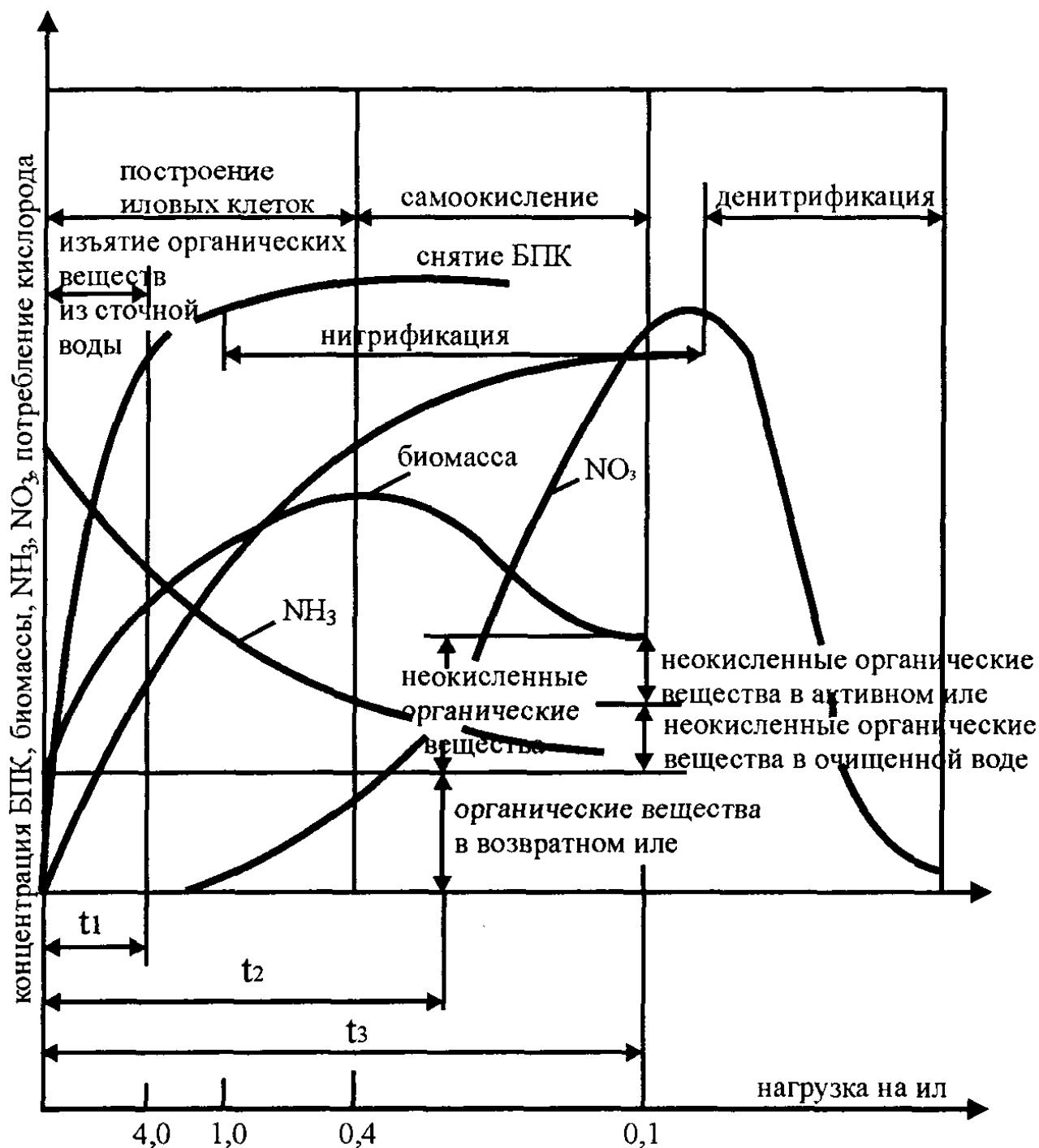


Рисунок 5.8 - Кривые, характеризующие принципы биологической очистки сточных вод в аэротенках

За время t_1 происходит сравнительно быстрое изъятие основной массы загрязнений из сточной воды за счет первичной их трансформации и накопления активным илом. Дальнейшее изъятие и окисление загрязнений может продолжаться в том же сооружении в режиме работы аэротенков без регенераторов при общей продолжительности аэрации t_2 . Окисление накопленных илом загрязнений может осуществляться в регенераторах в режиме работы аэротенков с регенераторами в течение времени $t_2 - t_1$.

Если ставится задача аэробной стабилизации ила в аэротенке, то длительность аэрации сточной жидкости в них должна составить t_3 , т.е. аэро-

тенки должны работать в режиме продленной аэрации. При этом параллельно будут идти и процессы нитрификации аммонийного азота, степень которой будет зависеть от длительности аэрации. Последняя, в свою очередь, будет зависеть от требуемой глубины изъятия азота. На графике по оси абсцисс даны значения нагрузок на активный ил по БПК, которые соответствуют описанным режимам работы аэротенков.

5.3 Конструкции аэротенков

Конструктивное оформление аэротенков определяется пропускной способностью очистных сооружений, исходными характеристиками сточной воды, определяющими режим работы аэротенков, типом аэрационного оборудования для подачи воздуха и перемешивания, конструкцией других сооружений, включаемых в технологическую схему очистки сточной воды. При конструировании решаются вопросы оптимального расположения коммуникаций, подводящих к аэротенкам сточную воду на очистку, циркуляционный активный ил, воздух, коммуникаций, отводящих иловую смесь из аэротенков в сооружения илоотделения, и избыточного активного ила на обработку.

Под оптимальным понимается взаимное расположение коммуникаций, обеспечивающее возможность работы аэротенков по заданной технологической схеме, а при необходимости и переход от одной схемы работы к другой, удобство контроля и управления, оперативное переключение в случае плановой или непредвиденной остановки сооружения для ремонта. Одним из важных требований при этом является обеспечение минимальной длины коммуникаций для снижения строительных затрат и оптимизации высотной схемы расположения сооружений.

Для крупных очистных сооружений применяются, главным образом, прямоугольные в плане аэротенки с пневматической аэрацией, хотя имеются крупные очистные сооружения с механической системой аэрации. Для сравнительно небольших очистных сооружений применяются как прямоугольные, так и круглые в плане аэротенки с пневматической, механической или пневмомеханической аэрацией. Существенной характеристикой аэротенков является их связь с сооружениями последующего разделения иловой смеси. Различают аэротенки с отдельными отстойными сооружениями и аэротенки-отстойники, в которых эти два сооружения определенным образом гидравлически связаны и взаимозависимы.

Аэротенки с отдельными сооружениями илоотделения характеризуются тем, что иловая смесь из них выводится и направляется в отстойные сооружения, из которых возврат циркуляционного активного ила осуществляется принудительно либо насосными установками, либо эрлифтами. Такие аэротенки могут применяться на очистных сооружениях любой пропускной способности, но наиболее часто на крупных и средних. Они представляют собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный на два-четыре коридора продольными перегородками, обеспечивающими последовательное протекание по ним иловой смеси.

Такое коридорное устройство позволяет типизировать поперечные размеры аэротенков и с высокой степенью гибкости вводить при необходимости регенерацию. При этом снижается возможность продольного перемешивания иловой смеси при работе аэротенков в режиме вытеснителей. Коридорное устройство аэротенков позволяет относительно легко решать вопросы подвода очищаемой жидкости и ила в аэротенк и отвода из него иловой смеси независимо от технологической схемы работы аэротенка. Ширина коридора может составлять 4,5 - 9 м при глубине его до 6 м. Длина аэротенков может достигать нескольких десятков метров.

Воздух в данной конструкции аэротенков диспергируется с помощью фильтросных пластин, уложенных в бетонных каналах, которые устраивают в днище аэротенка вдоль продольной стенки его коридора.

Если отстойные сооружения имеют прямоугольную в плане форму (горизонтальные отстойники), то может устраиваться единый блок аэротенков с первичными и вторичными отстойниками, что позволяет до минимума свести длину связывающих эти сооружения коммуникаций.

Для опорожнения аэротенков предусматривается устройство лотков в середине каждого коридора с продольным уклоном в 0,001 в сторону трубопровода опорожнения. Днище коридора имеет поперечный уклон в 0,001 в сторону лотка опорожнения аэротенка.

Устройство аэротенков с механической аэрацией практически ничем не отличается от устройства аэротенков с пневматической аэрацией. Однако в силу специфики механических аэраторов, имеющих квадратную или круглую в плане зону действия, при их применении стремятся увеличить ширину аэротенка (или коридора) до пяти-шести диаметров аэратора, что в свою очередь предопределяет и специфичность подходов к компоновочным решениям.

Характерной чертой аэротенков-отстойников является конструктивное совмещение аэрационного резервуара и вторичного отстойника в одном сооружении. Часть сооружения, в которой осуществляется аэрация иловой смеси, получила название аэрационной зоны, а другая - отстойной зоны. Обе эти зоны связаны между собой отверстиями, окнами, щелями, обеспечивающими переток иловой смеси из аэрационной зоны в отстойную и возврат активного ила из отстойной зоны в аэрационную без применения оборудования для принудительного возврата ила в зону аэрации. Примером такого сооружения может служить широко применяющаяся во Франции конструкция «Оксиконтакт», разработанная французской фирмой "Дегремон" (рисунок 5.9).

Глубина сооружения около 4 м, длина 15-70 м, в зависимости от требуемой пропускной способности. Циркуляционный расход активного ила может достигать 200-300% расчетного расхода сточной воды.

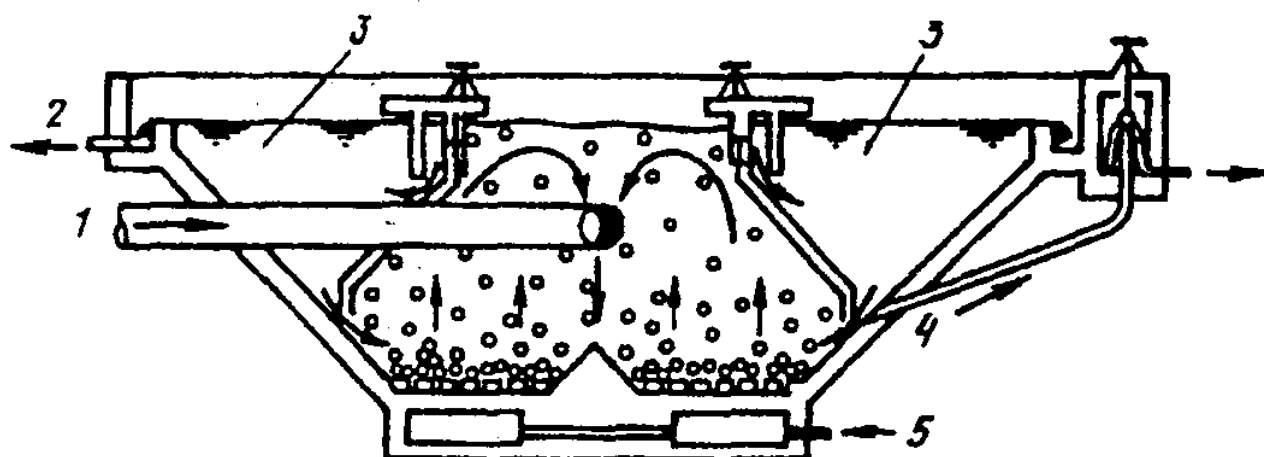


Рисунок 5.9 - Оксиконтакт: 1- впуск воды; 2- отвод очищенной воды; 3- зона отстаивания; 4- удаление активного ила; 5- воздух

Для станций сравнительно небольшой пропускной способности довольно широко применяются аэротенки-отстойники круглой в плане формы с концентрическими зонами аэрации и отстаивания. В качестве примера такого сооружения можно привести радиальный аэротенк-отстойник с центральной зоной аэрации и периферийной зоной отстаивания. На рисунке 5.10 представлена конструкция, в которой сточная вода подается в центр зоны аэрации, где наблюдается наиболее высокая степень турбулизации жидкости под действием пневмомеханического аэратора.

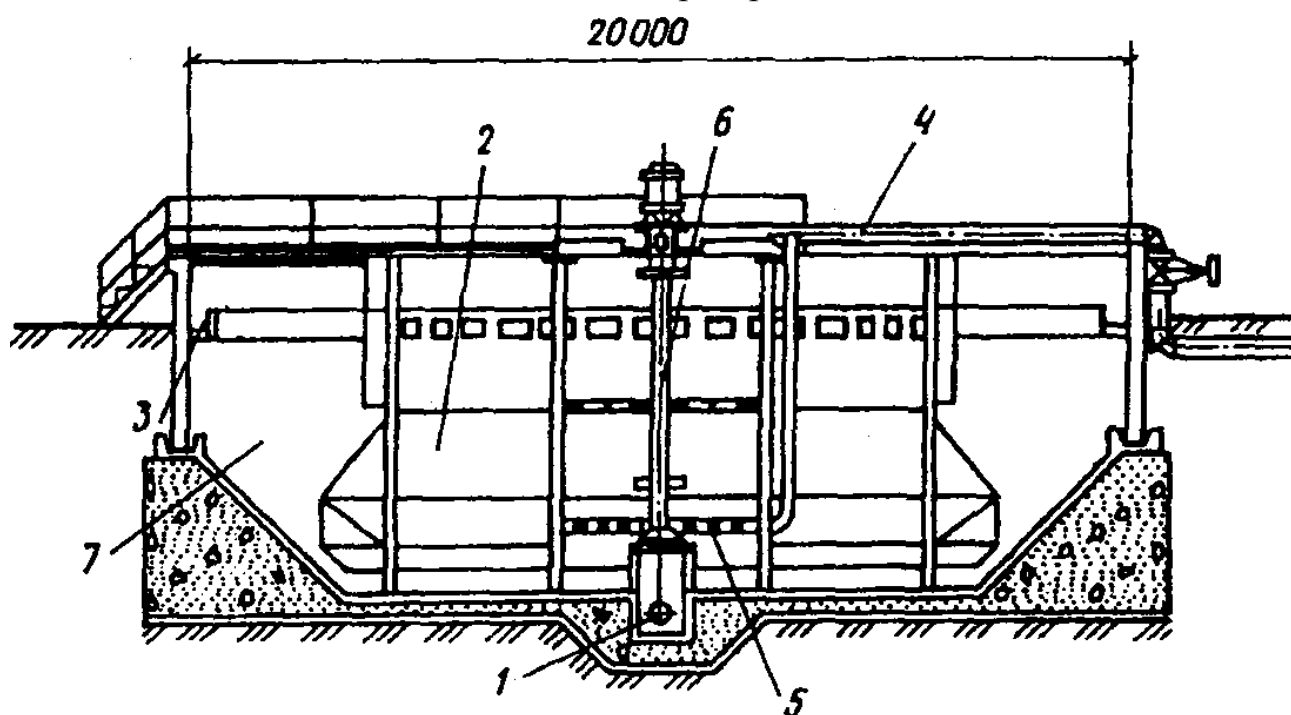


Рисунок 5.10 - Аэротенк-отстойник радиальный: 1- трубопровод для подачи сточных вод; 2 - зона аэрации; 3 - лоток осветленной воды; 4 - воздуховод; 5 - кольцевой перфорированный аэратор; 6 - диспергатор-мешалка; 7 - зона отстаивания

Применяются и аэротенки-отстойники промежуточного типа, в которых возврат активного ила из отстойной зоны в аэрационную осуществляется принудительно. Примером такого сооружения в радиальном исполнении является аэротенк-отстойник типа "Турбофлок", в котором отстойная зона, выполненная в виде радиального отстойника со скребковым механизмом, располагается в центре сооружения, а возврат ила в зону аэрации осуществляется с помощью насосов (рисунок 5.11).

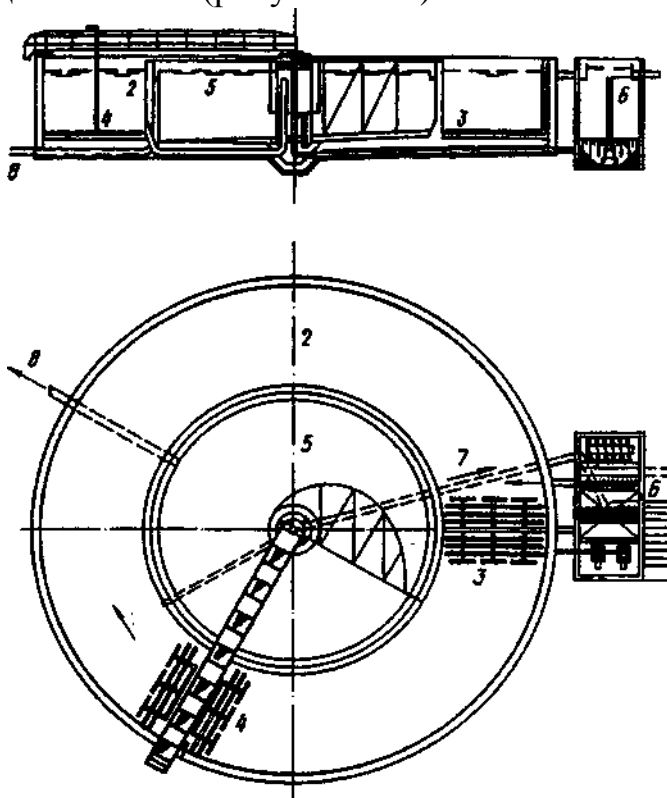


Рисунок 5.11 - Радиальный аэротенк-отстойник фирмы "Турбофлок": 1 - подача сточной воды на очистку; 2 - зона аэрации; 3 - неподвижные аэраторы; 4 - перемещаемые аэраторы; 5 - зона отстаивания; 6 - камера для избыточного ила; 7 - система циркуляции ила; 8 - отвод очищенной воды

В аэрационной зоне применена система аэрации, состоящая из неподвижных аэраторов, монтируемых у днища аэротенка, а также аэраторов, перемещаемых на вращающейся платформе в противоположном направлении движения жидкости на направлении, позволяющих снизить затраты электроэнергии на единицу снимаемой БПК.

Фирмой «Эпюрекс» разработаны типовые сооружения для обслуживания от 1600 до 20 000 жителей. Установки работают в режиме продленной аэрации для станций, обслуживающих до 6500 жителей и в режиме классической аэрации для крупных очистных сооружений.

К аэротенкам-отстойникам промежуточного типа относится и установка (рисунок 5.12).

Возврат активного ила из зоны отстаивания осуществляется под действием гидростатического напора, развиваемого механическим поверхностным аэратором дискового типа, устанавливаемым в центре квадратной (или прямоугольной) в плане формы зоны аэрации. По трубопроводу, связывающему

иловую часть отстойной зоны со стабилизатором потока в виде вертикальной трубы, устанавливаемой под аэратором, активный ил возвращается в зону аэрации. Гидростатический напор, развиваемый аэратором, выражается в создании разницы между уровнем воды в отстойной зоне и уровнем воды в зоне действия аэратора. Этот напор может составлять 15-20 см водяного столба, что побуждает движение активного ила в зону действия аэратора.

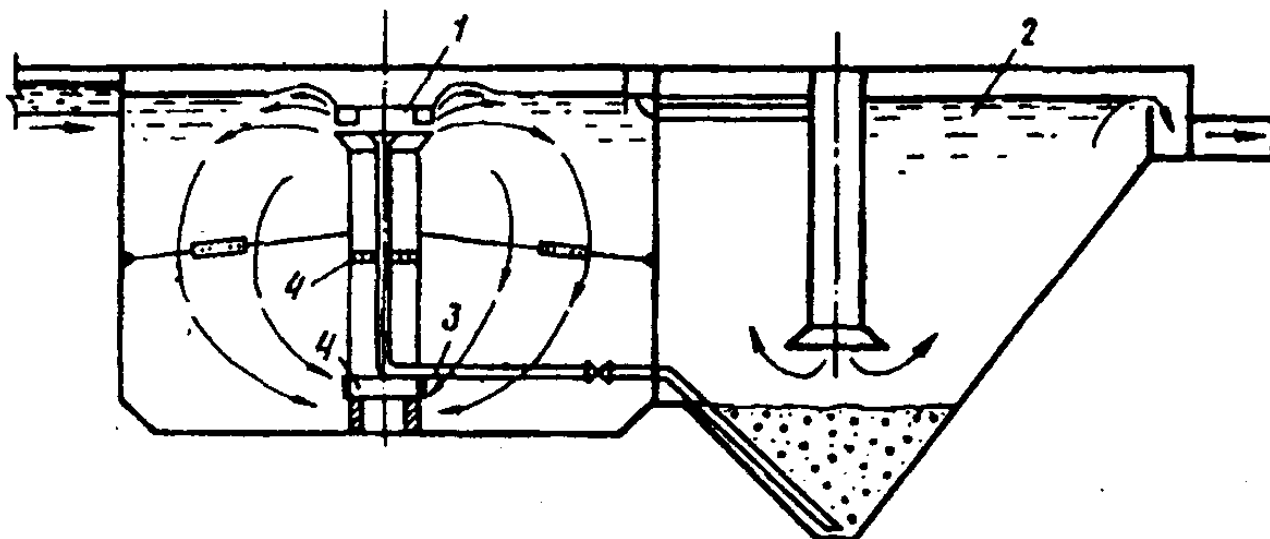


Рисунок 5.12 - Схема использования механического поверхностного аэратора дискового типа со стабилизатором потока для подачи ила из отстойной в аэрационную зону: 1 - зона аэрации; 2 - отстойник; 5 - трубопровод для подсосывания ила; 4 - окна для впуска жидкости

Для малых очистных станций разработаны компактные установки, включающие полный набор сооружений для очистки сточной воды и минерализации избыточного активного ила, в которых используются названные принципы компоновки аэрационной и отстойной зон и которые предназначены для обработки сточных вод объемом от нескольких кубометров до нескольких сот кубометров в сутки.

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) получили распространение в странах Западной Европы, особенно в Голландии. Эти аэрационные сооружения представляют собой замкнутый канал трапецеидального или прямоугольного сечения овальной в плане формы, по которому циркулирует иловая смесь со скоростью 0,25-0,3 м/с. Такая скорость предотвращает осаждение активного ила и обеспечивается горизонтальными цилиндрическими аэраторами, устанавливаемыми поперек канала (рисунок 5.13).

ЦОК работает по принципу аэротенков продленной аэрации, как правило, без первичного отстаивания. Средняя длительность пребывания ила в нем составляет около 40 сут, что позволяет обеспечить значительную его минерализацию. В зависимости от расхода очищаемой жидкости применяются как схемы без вторичного отстаивания (рисунок 5.13, а), так и схемы со вторичным отстаиванием (рисунок 5.13, б). По схеме а осуществляется периодическая работа канала то как аэротенка, то как вторичного отстойника. Для бесперебойной работы сооружения требуется устройство, как минимум, двух

каналов: когда один канал работает как аэротенк и принимает сточную воду на очистку, второй канал работает как вторичный отстойник. После необходимой длительности отстаивания очищенная жидкость выпускается, и в него начинает подаваться сточная вода на очистку, и канал работает как аэротенк, тогда как второй канал начинает работать как вторичный отстойник.

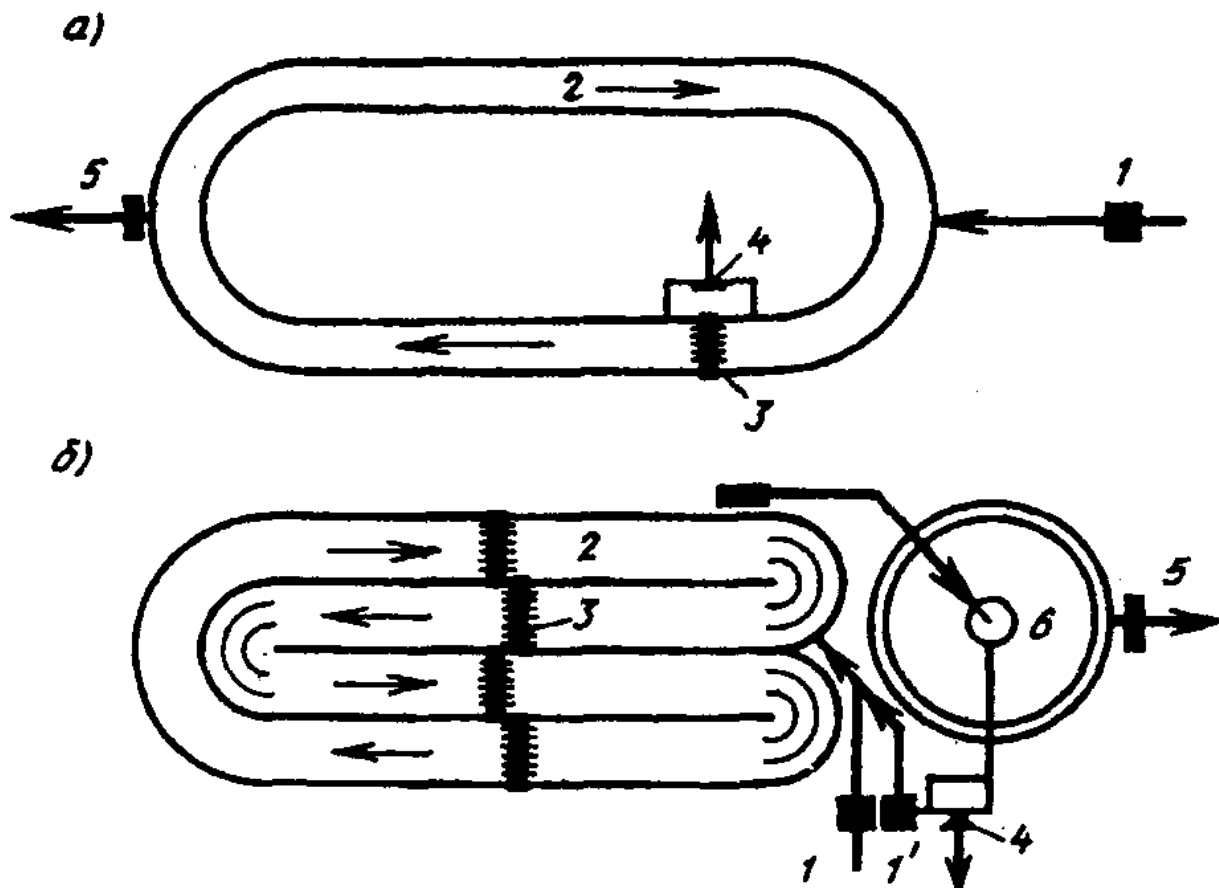


Рисунок 5.13 - Окислительный канал без вторичного отстойника (а) и с вторичным отстойником (б): 1 - насосная станция; 1' - то же, возврата ила в ЦОК; 2 - ЦОК; 3 - горизонтальный аэратор; 4 - удаление избыточного активного ила; 5 - отведение очищенной воды; 6 - вторичный отстойник

По схеме б ЦОК работает непрерывно с выведением активного ила из вторичного отстойника и подачей его в аэрационный канал. Избыточный активный ил в обеих схемах направляется на иловые площадки.

В настоящее время в ЦОК применяются механические аэраторы с вертикальной осью вращения типа "Симкар". Аэратор устанавливается в месте закругления канала с устройством перегородки таким образом, чтобы весь формируемый аэратором поток жидкости направлялся вдоль канала. Такой ЦОК получил название «Карусель» и широко применяется для обслуживания населенных мест с числом жителей 8...20 тыс.

Благодаря большой окислительной и особенно перекачивающей способности аэратора стало возможным увеличить глубину канала с традиционных 0,8-1 м до 2,5-4 м и значительно сократить необходимую площадь сооружения. Опыт эксплуатации таких каналов показал, что расчетный объем

канала для обеспечения необходимой степени биологической очистки может быть снижен на 1 жителя с 0,25-0,3 м³ до 0,15-0,18 м³. Однако, сокращать расчетный объем канала признано нецелесообразным из соображений последующей обработки ила. Также нецелесообразным признано и введение первичного отстаивания, так как количество избыточного ила при работе канала из расчета 0,25 м³ на 1 жителя не превышает 30 г по сухому веществу на 1 жителя в сутки. По некоторым данным, экономически эффективно применение ЦОК типа "Карусель" для обслуживания населенных мест с числом жителей до 30 000.

Окситенки. Использование кислорода вместо воздуха позволяет поддерживать в очищаемой воде концентрацию растворенного кислорода в 5-10 мг/л вместо обычно принятой для аэротенков концентрации в 1,5-2 мг/л. Это дает возможность существенного повышения окислительной способности сооружения и устойчивости очистных процессов при шоковых и резко колеблющихся нагрузках на активный ил. Прирост активного ила в окситенках на 25-35% ниже, чем в аэротенках за счет более глубокого окисления изымаемых загрязнений. Активный ил значительно лучше отделяется от очищенной воды и уплотняется, что позволяет уменьшить объем вторичных отстойников и уплотнителей избыточного ила.

Конструктивно окситенк (рисунок 5.14) выполнен в виде резервуара круглой в плане формы с цилиндрической перегородкой 12, разделяющей его на зону аэрации 13 в центре и илоотделитель 18 по периферии сооружения. В средней части по высоте цилиндрической перегородки устроены окна 16 для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; в нижней части перегородки - окна 15 для возвращения ила в зону аэрации.

Зона аэрации оборудована герметическим перекрытием 6, на котором устанавливается электропривод 3 турбоаэратора 4. На перекрытии смонтированы трубопровод подачи кислорода 7 и продувочный трубопровод 1 с клапанами.

Илоотделитель 18 оборудован перемешивающим устройством, представляющим собой вращаемые приводом решетки из вертикальных стержней 8 $d = 30...50$ мм, расположенных один от другого на расстоянии 300 мм. В нижней части решеток размещается шарнирно подвешенный скребок 14. Илоотделитель работает со взвешенным слоем активного ила, уровень которого стабилизируется автоматически путем сброса избыточного ила через трубу 10.

Сточная вода поступает в зону аэрации по трубе 17, где турбоаэратором аэрируется и интенсивно перемешивается с активным илом. Из зоны аэрации через окна 16 и зону дегазации иловая смесь поступает в илоотделитель. Благодаря направляющим щиткам жидкость в илоотделителе медленно движется по окружности, вследствие чего значительно интенсифицируется процесс отделения и уплотнения ила. Очищенная вода проходит сквозь слой взвешенного активного ила, доочищается от взвешенных и растворенных органических веществ, поступает в сборный лоток и отводится по трубе. Возвратный активный ил спирально опускается вниз и через окна 15

направляется в зону аэрации.

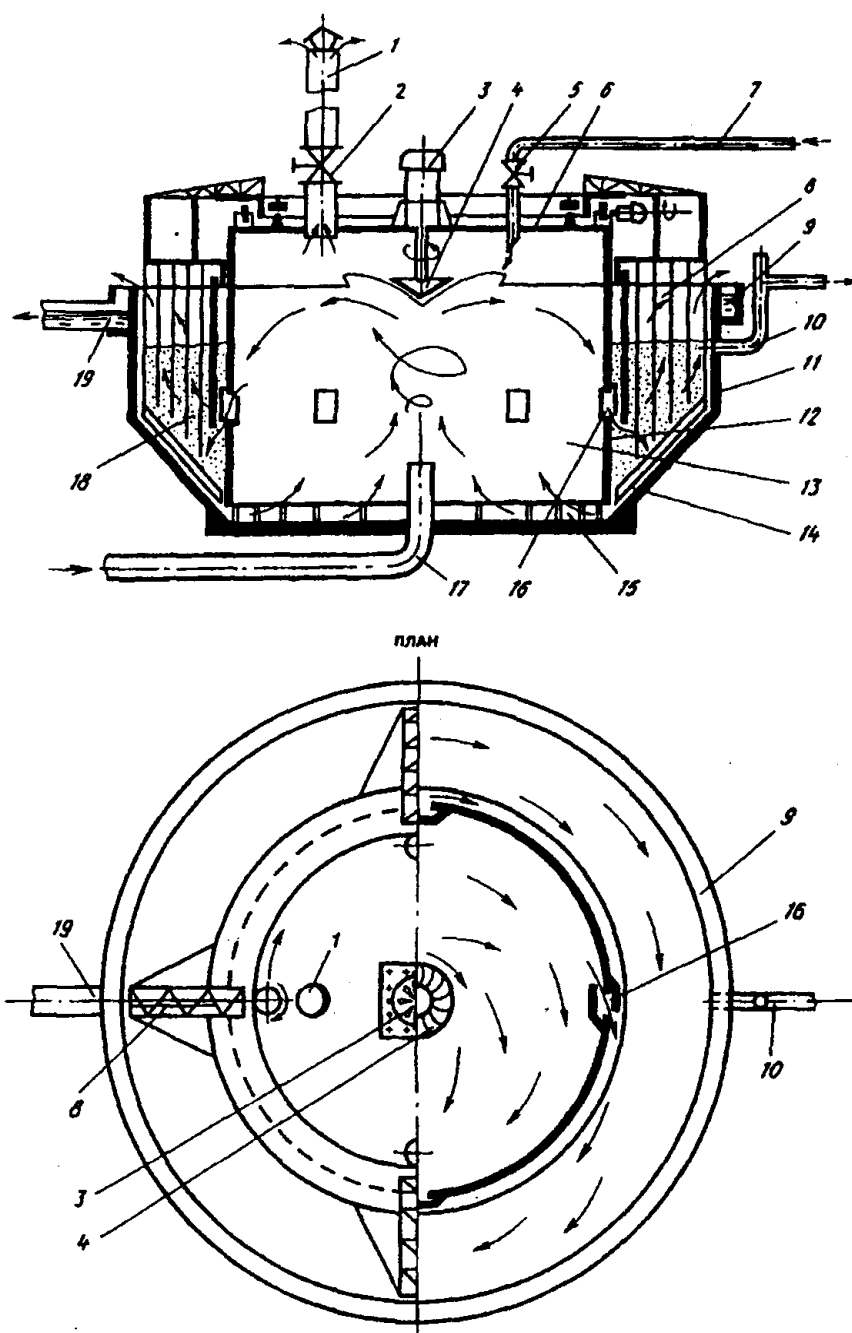


Рисунок 5.14 - Окситенк: 1 - продувочный трубопровод; 2 и 5 - задвижки с электрическим приводом; 3 - электродвигатель; 4 - турбоаэратор; 6 - герметичное перекрытие; 7 - трубопровод подачи кислорода; 8 - вертикальные стержни; 9 - сборный лоток; 10 - труба для сброса избыточного ила; Л - круглый резервуар; 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

Окситенк оборудуется системой автоматизации, обеспечивающей по-

дачу 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.

Высокая концентрация растворенного кислорода в окситенке позволяет значительно повысить дозу активного ила в сооружении и интенсифицировать процессы нитрификации аммонийного азота. Это дает возможность повышения окислительной мощности окситенков в 5-6 раз по сравнению с аэротенками и снизить капитальные затраты в 1,5-2 раза, а эксплуатационные в 2,5-3 раза.

В настоящее время наиболее перспективно применение окситенков на объектах, которые имеют собственный технический кислород или могут получать его от соседних предприятий.

5.4 Система аэрации иловых смесей в аэротенках

Применительно к аэротенкам различают системы аэрации: 1) пневматическую; 2) механическую; 3) смешанную, или комбинированную. Некоторые исследователи выделяют и группу гидравлических или струйных аэраторов.

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; к крупнопузырчатым - открытые снизу вертикальные трубы, а также сопла.

Наиболее распространенным типом мелкопузырчатого аэратора являлась фильтросная пластина размером 300x300 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 заделываются цементным раствором в железобетонные каналы, устраиваемые в днище 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.

Фильтросные пластины подвержены засорению с внутренней стороны пылью, окалиной и ржавчиной, находящимися в подаваемом воздухе, а с наружной - 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 лишь на короткий срок. Поэтому в среднем через каждые семь лет фильтросные пластины полностью заменяют новыми.

Для упрощения работ по устройству аэрационных каналов с фильтросными пластинами во ФГУП НИИ ВОДГЕО были испытаны фильтросные трубы диаметром 300 мм длиной 500 мм, которые соединялись между собой на резиновых кольцевых прокладках. Концы трубы герметизировались заглушкой, имевшей в центре отверстия для натяжного стержня. Натяжным стержнем, имевшим на концах резьбу и натяжные гайки, уплотнялись стыки и трубы крепились в нужном положении.

В зарубежной практике вместо фильтросных пластин применяются купольные, грибовидные и другой формы диффузоры, устанавливаемые на воздухоподводящем трубопроводе, смонтированном на днище аэротенка параллельно продольным его стенам. При этом количество таких трубопроводов со смонтированными на них диффузорами может составлять 3-5 в каждом коридоре аэротенка, исходя из его общей потребности в количестве подаваемого воздуха. В Великобритании такая система известна как "гребни-борозды", при которой трубопроводы проложены в бороздах, разделенных между собой вертикальными выступами - "гребнями", для лучшего диспергирования подаваемого воздуха.

В целях обеспечения возможности проведения ремонтных работ или полной замены аэрационного оборудования без отключения и опорожнения аэротенка фирмой "Шумахер" (ФРГ) был разработан аэрационный агрегат длиной 3,9 м, представляющий собой коллектор, к которому с двух сторон присоединены пористые трубки диаметром 70 или 100 мм и длиной 500 мм. На 1 м коллектора устанавливают 6-20 трубок. Агрегат подвешивается на двух стояках, шарнирно связанных с разводящим воздухопроводом, что позволяет легко поднимать его с помощью ручной лебедки для осмотра или замены трубок в случае их выхода из строя.

В последние годы в Российской Федерации стали применяться пластмассовые пористые диффузоры как в виде отдельных аэрационных труб длиной 2 м, соединенных между собой при помощи соединительных муфт на резьбе, так и в виде тарельчатых аэраторов, монтируемых на воздуховоде через определенные расстояния на резьбовом соединении. Аэрационные трубы изготавливаются из обычных пластмассовых труб диаметром 120-150 мм с продольными тканевыми прорезями для выхода воздуха, поверхность которых путем напыления полимерного материала покрывается пористым слоем, который и обеспечивает образование воздушных пузырьков диаметром 2-3 мм в процессе аэрации.

В тарельчатых аэраторах могут применяться диспергирующие воздух материалы из пористо-волокнутого полимера, перфорированной резины, нержавеющей стали с лазерной просечкой. Диаметр такого аэратора 200 мм с той же пропускной способностью, что и у фильтросной пластины.

К среднепузырчатым аэраторам можно отнести перфорированные трубы, укладываемые у дна аэротенка, с отверстиями перфорации диаметром 3-4 мм. Воздухоподающие стояки устанавливают через 20-30 м. Трубы должны быть уложены строго горизонтально, иначе воздух будет продуваться неравномерно по длине трубы. Опыт эксплуатации стальных перфорированных

труб показал, что через короткий срок отверстия засоряются и подача воздуха уменьшается.

В американской практике широкое распространение получил аэратор «Спаржер», 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 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.

Низконапорный аэратор системы ИНКА 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 достигает до дна. В зоне выхода воздуха развивается область высокой турбулентности, благодаря чему воздух дробится и образуется водовоздушная эмульсия.

Из-за малой глубины погружения аэратора ИНКА для обеспечения нормального хода процесса биологической очистки в аэротенк 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 крупнопузырчатым аэраторам относится система «крупных пузырей», в которой аэраторами являются трубы диаметром 30-50 мм с открытыми концами, опущенные вертикально вниз на глубину 0,5 м от дна аэротенка. В такой системе аэрации используется кислород не только сжатого, но и в большей мере атмосферного воздуха, с которым иловая смесь усиленно контактирует за счет интенсивного обновления поверхности жидкости в аэротенке. Эта система, однако, распространения не получила, поскольку не обеспечивает надежное и интенсивное перемешивание иловой смеси при обычно применяемых глубинах аэротенков, не говоря уже о низкой эффективности использования подаваемого воздуха.

Механическая аэрация. Механические аэраторы весьма разнообразны в конструктивном отношении, но принцип их работы одинаков: вовлечение воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора

(ротором) и перемешивание его со всем содержимым аэротенка. Все механические аэраторы можно классифицировать следующим образом:

- по принципу действия - импеллерные (кавитационные) и поверхностные;
- по плоскости расположения оси вращения ротора - с горизонтальной и вертикальной осью вращения;
- по конструкции ротора - конические, дисковые, цилиндрические, колесные, турбинные и винтовые.

Наиболее широкое распространение получили аэраторы поверхностного типа, особенностью которых является незначительное погружение их в сточную воду и непосредственная связь ротора с атмосферным воздухом. К ним можно отнести аэраторы типа «Симплекс», «Симкар», дисковые, «Лайтнин», щетки Кессенера и их модификации.

Аэратор «Симплекс» 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 лопасти 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 достигающая до дна аэротенка на несколько сантиметров и опирающаяся на опоры, регулирующие зазор между трубой и днищем аэротенка. Конус связан с трубой специальной втулкой, обеспечивающей плотность соединения вращающегося конуса и неподвижной трубы (рисунок 5.15). При вращении относительно вертикальной оси конус выбрасывает воду, разбрызгивая ее над уровнем воды в аэротенке, что обеспечивает ее аэрацию.

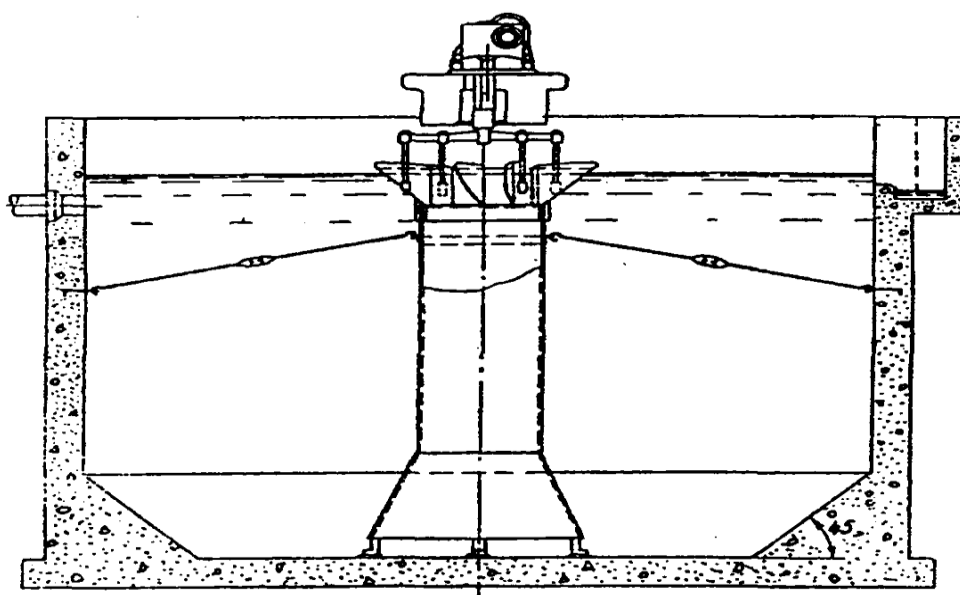


Рисунок 5.15 - Схема установки аэратора "Симплекс"

Дисковый аэратор представляет собой диск, с нижней стороны ко-

того 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 водоотведения МГСУ также разработана конструкция дискового аэратора, имеющего в отличие от аэраторов фирм «Лурги» и «Инфилко» стабилизатор потока, устанавливаемый под аэратором с небольшим зазором (рисунок 5.16).

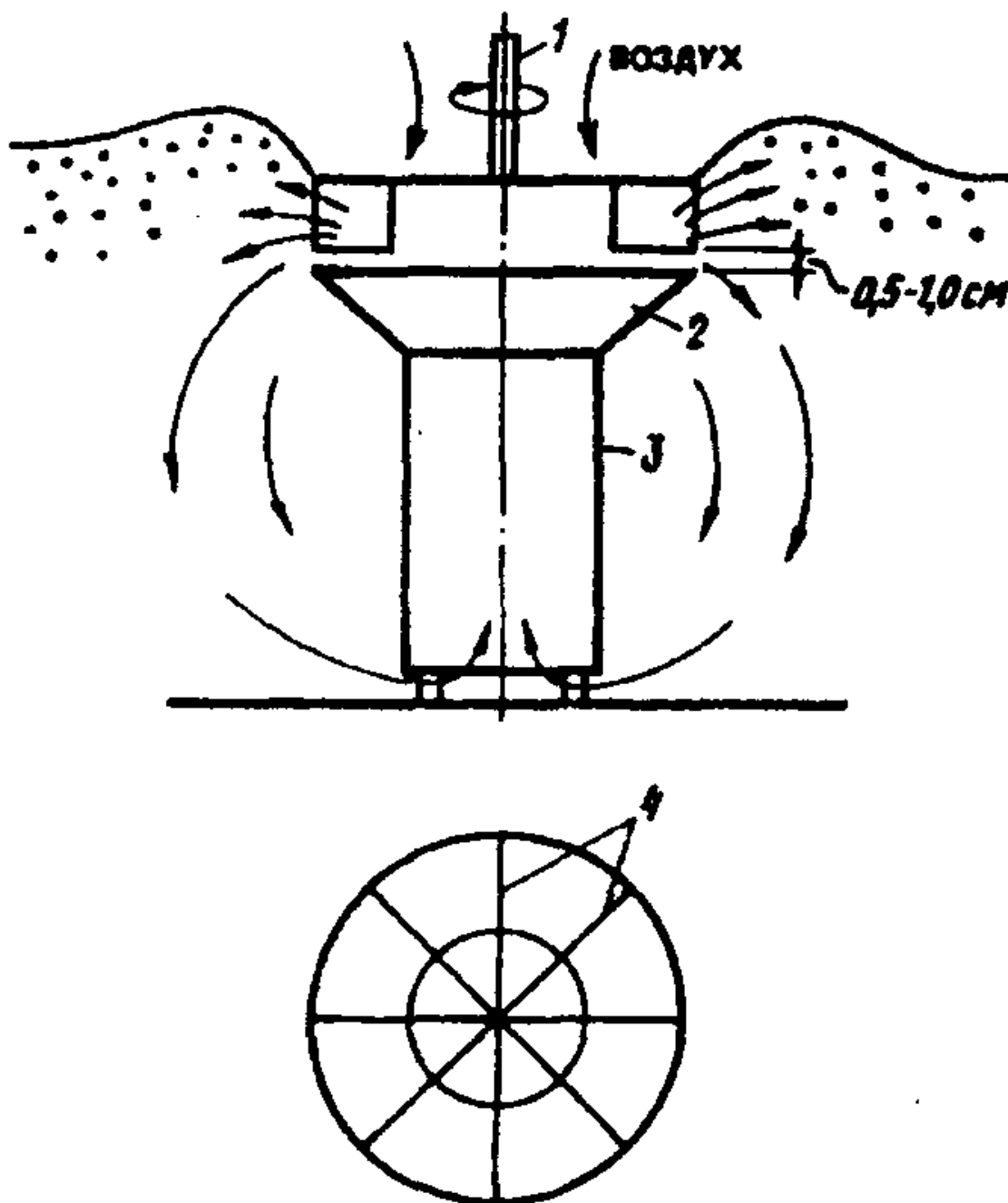


Рисунок 5.16 - Схема механического поверхностного аэратора дискового типа: 1-вал аэратора; 2-верхнее расширение стабилизатора; 3-стабилизатор; 4-лопатки аэратора

Аэратор «Лайтнин» представляет собой полностью открытую турбину,

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 см. Частота вращения вала относительно горизонтальной оси до 100 мин^{-1} . Аэратор погружается в воду на глубину 10-12 см.

Вращение такого аэратора приводит к вовлечению воздуха из атмосферы в сточную воду.

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.

Вальцовый аэратор представляет собой разновидность цилиндрического аэратора, но при этом цилиндр собирается из нескольких (от 1 до 8) вальцов длиной каждый около 3 м.

Клеточный аэратор - цилиндрический вал с двумя дисками на концах вала. По периферии дисков параллельно валу прикреплено 12 Т-образных балок, к которым болтами крепят короткие стальные лопасти длиной 15 см, шириной 5 см и толщиной 0,5 см. Аэратор собирают из нескольких звеньев.

Импеллерные (кавитационные) аэраторы отличаются от поверхностных тем, что турбина погружается на значительную глубину в жидкость и соединяется с атмосферным воздухом либо через полый вал, приводящий турбину во вращение, либо через трубу, в которой проходит вал вращения турбины. При вращении турбины труба освобождается от воды и воздух из атмосферы поступает в зону действия турбины и далее вовлекается в жидкость струями выбрасываемой из турбины воды, как это имеет место в поверхностных аэраторах. Однако, из-за значительной глубины погружения турбины (иногда в 2 - 2,5 м), турбина должна вращаться с периферийной скоростью в 15-20 м/с, что отрицательно сказывается на энергетических показателях работы такого аэратора. Хотя в практике известны аэраторы этого типа, но значительного применения для аэротенков они не нашли.

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», института Механобр.

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. 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.

Струйные, или эжекторные, аэраторы по принципу действия аналогичны механическим поверхностным аэраторам с вертикальной осью вращения.

Конструктивное оформление эжекторных аэраторов весьма разнообразно, однако, как правило, они имеют в своем составе сопло для пропуска рабочей жидкости, патрубок для вовлечения воздуха из атмосферы, камеру смешения и диффузор (рисунок 5.17).

Работают эжекторные аэраторы следующим образом. Сточная вода, подаваемая насосной установкой, с большой скоростью вытекает из сопла в камеру смешения, создавая разрежение в приемной камере, что вызывает поступление через специальный патрубок атмосферного воздуха. Струя жидкости увлекает диспергируемый воздух через камеру смешения в диффузор. Попав в диффузор, водовоздушная смесь снижает свою скорость при одновременном повышении давления, что ведет к некоторому укрупнению пузырьков воздуха. При этом парциальное давление кислорода в пузырьках увеличивается и происходит дополнительное насыщение жидкости кислородом. Процесс переноса кислорода в жидкость продолжается с замедляющейся скоростью и за пределами диффузора в течение всего периода контакта двух фаз. Применяется эта система аэрации для сравнительно небольших очистных сооружений, так как радиус действия эжекторного аэратора невелик.

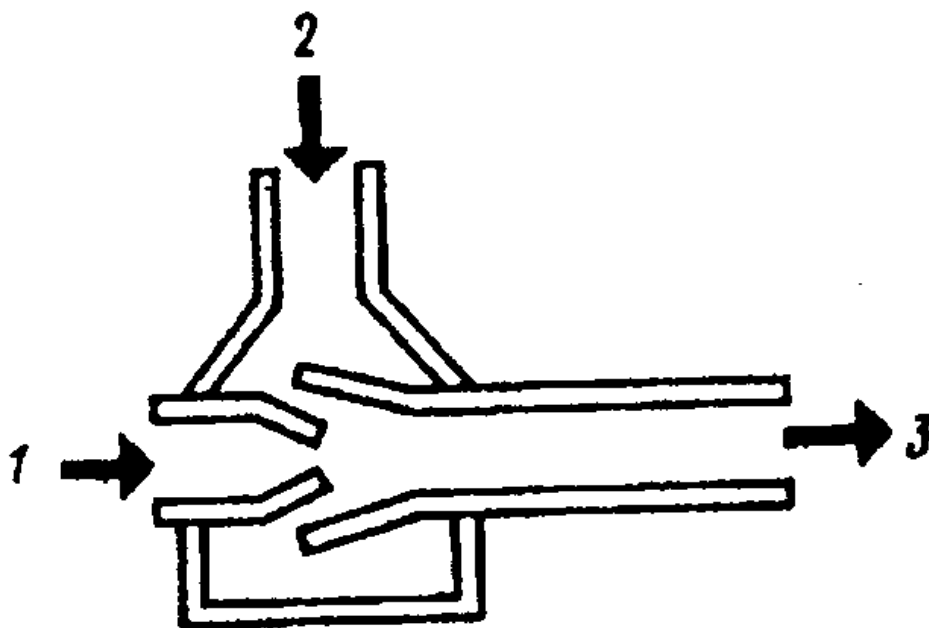


Рис. 5.17 Принцип действия эжекторного аэратора

В связи с необходимостью доочистки сточных вод в аэрируемых биологических прудах в последние годы разработаны конструкции подвижных механических аэраторов. Необходимость перемещения механических аэраторов связана с тем, что они имеют высокую производительность по количеству подаваемого в жидкость воздуха, но сравнительно небольшую зону активного перемешивания иловой смеси, где не наблюдается осаждения ила. В этой зоне не может быть эффективно использован весь подаваемый аэратором воздух в связи с низкой удельной потребностью в нем при доочистке биологически очищенной в аэротенках или биофильтрах сточной воды.

Перемещение аэратора по акватории биопруда позволяет существенно увеличить площадь, обслуживаемую одним аэратором, и использовать подаваемый им воздух. В этих целях аэратор устанавливается на плавающей платформе и перемещается по акватории аэрационного сооружения. Перемещение может быть осуществлено либо тросо-лебедочной системой в прямолинейном направлении с возвратом аэратора в исходную точку через определенный промежуток времени, либо за счет вращения самого аэратора. В последнем случае 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.

Для насыщения сточной воды кислородом рекомендуется устройство на отводных каналах водосливов, перепадных колодцев, лотков Паршалля и др., а также механических аэраторов, перемещаемых по акватории воды или стационарно установленных.

Большое разнообразие применяемых в настоящее время аэраторов ставит перед проектировщиком задачу выбора не только системы аэрации, но и ее конструктивного оформления для каждого конкретного случая применения аэрационных сооружений для биологической очистки сточных вод. Выбор аэратора должен быть сделан на основе сравнения наиболее существенных показателей работы. К таким показателям следует отнести эффективность аэрации, окислительную способность аэратора, стоимость системы аэрации, приходящуюся на единицу объема аэротенка в единицу времени или на единицу объема очищаемой жидкости, размер зоны, обслуживаемой одним аэратором, сложность осуществления ремонта или замены аэрационного оборудования, надежность и долговечность в работе, сложность ухода за системой в процессе эксплуатации. Из технико-экономических показателей наиболее широко используются такие, как эффективность аэрации и окислительная способность аэратора (ОС), а из прочих - размер зоны, обслуживаемой аэратором, особенно для аэраторов локального действия, к которым относятся механические аэраторы.

Под эффективностью аэрации понимается либо количество растворенного кислорода на единицу затраченной энергии [$\text{гO}_2/(\text{кВтч})$ или $\text{кгO}_2/\text{кВтч}$], либо затраты электроэнергии на растворение 1 кг кислорода ($\text{кВтч}/\text{кгO}_2$) в стандартных условиях. За стандартные условия принята аэрация полностью обескислороженной водопроводной воды при температуре 20°C и давлении 760 мм рт. ст.

Окислительная способность характеризует производительность аэратора по кислороду, так как ею выражается скорость растворения кислорода в единицу времени ($\text{г O}_2/\text{ч}$ или $\text{кг O}_2/\text{ч}$), обеспечиваемая аэратором в стандартных условиях. Значения эффективности аэрации и окислительной способности аэратора для реальных условий получают, вводя поправочные коэффициенты, характеризующие отличие реальных условий от стандартных, в значениях этих параметров, полученные в стандартных условиях.

Некоторое представление об экономической эффективности различных систем аэрации может дать таблица 5.1.

Таблица 5.1-Экономическая эффективность систем аэрации

Система аэрации	Потребление энергии (кВт·ч)/ кгО ₂	Стоимость энергии на аэрацию в сут	Капитальные затраты, приходящиеся на 1 сут	Общая стоимость аэрации, приход, на 1 сут
Пневматическая: тонкодиспергированным воздухом низконапорная	0,77	1,75	3,2	2
	0,496	1,05	1	1,05
Механическая: аэраторами с осью вращения горизонтальной	0,55	1,25	1,25	1,25
	0,44	1	1	1
Комбинированная (турбинный аэратор)	0,77	1,75	2,25	1,85

В данной таблице в графе 2 приведены значения эффективности аэрации в стандартных условиях. В графах 3-5 даны не абсолютные значения соответствующих характеристик, а их сравнительная оценка. За единицу сравнения принята стоимость аэрации механическими аэраторами с вертикальной осью вращения, а сравнение затрат, приходящихся на 1 сут работы системы аэрации, сделано из соображений учета и таких факторов, как мощность очистных сооружений, срок их окупаемости, сложность эксплуатации. Выбор надежной и эффективной системы аэрации требует также рассмотрения факторов, определяющих работу аэраторов в каждом конкретном случае: количество аэрационных агрегатов, доступ к ним, возможность и частота их замены, безотказность в работе.

5.5 Принципы расчета аэротенков и систем аэрации

Целью расчета аэрационных сооружений является определение необходимых для достижения требуемой степени очистки объемов этих сооружений и количества воздуха, а также объема образующегося в процессе очистки избыточного активного ила, подлежащего постоянному выведению из системы биологической очистки. Факторами, обуславливающими вместимость аэротенков, являются расход поступающих на очистку сточных вод и длительность их пребывания в аэротенках. Поскольку длительность аэрации измеряется часами (по действующим нормативам она не должна быть менее 2 ч) то для расчета вместимости аэротенков пользуются среднечасовым расходом сточной воды за период, по длительности равный периоду аэрации, в течение которого поступает максимальное от суточного притока количество воды. Длительность аэрации будет зависеть от типа и режима работы аэрационных сооружений, природы загрязнений и их исходной концен-

трации, требуемой степени очистки, поддерживаемой в сооружениях дозы ила, кислородного режима, температуры воды.

Применяемый в настоящее время в нашей стране метод расчета аэротенков основывается на следующих положениях.

1. Выбор типа аэрационного сооружения (аэротенк-вытеснитель, аэротенк-смеситель, аэротенк с рассредоточенным впуском воды) и режим его работы (с регенерацией активного ила или без нее) производится исходя из характеристик подлежащих очистке сточных вод (природы загрязнений, их концентрации и режима поступления, расхода стоков) и требуемой глубины их очистки.

2. Длительность аэрации является функцией одновременного воздействия таких факторов, как исходная и конечная концентрации загрязнений в сточной воде, природа загрязнений, доза ила в аэротенке, скорость окисления загрязнений активным илом, поддерживаемая в сооружении концентрация растворенного кислорода, гидродинамические условия в аэротенках. Поскольку степень влияния этих факторов на характер протекания биологических процессов будет зависеть от типа сооружения, то и методика расчета длительности аэрации будет различной для сооружений разных типов.

3. По расчетной длительности аэрации, т.е. длительности пребывания сточной воды в аэрационном сооружении, определяется расчетный расход сточных вод (по таблицам или графикам часового притока сточных вод в течение суток, соответствующего общему коэффициенту неравномерности притока).

4. Необходимая вместимость аэротенков без регенераторов определяется на основе расчетного расхода и длительности аэрации без учета рециркуляционного расхода активного ила, так как его смешение с поступающей на очистку сточной водой приводит к пропорциональному снижению исходной концентрации сточной воды за счет ее разбавления, практически не изменяя общей нагрузки загрязнений на активный ил. Рециркуляционный расход ила, однако, учитывается при расчете пропускной способности соответствующих коммуникаций.

5. Вместимость аэротенков при наличии регенераторов активного ила, а также самих регенераторов определяется с учетом рециркуляционного расхода активного ила в них. При этом длительность регенераций рассматривается как разница между длительностью, необходимой для окисления загрязнений, и длительностью пребывания сточной воды в аэротенке, где загрязнения уже подверглись изъятию из воды и определенному ферментативному воздействию активного ила.

6. Выбор системы аэрации осуществляется с учетом пропускной способности очистных сооружений, технико-экономической эффективности системы аэрации, наличия и возможностей получения выбираемого аэрационного оборудования, его долговечности и надежности в работе.

7. Расчет системы аэрации предусматривает определение необходимого количества воздуха, расчетных параметров его подачи в аэротенки (расход, давление, интенсивность подачи), числа воздухораспределительных уст-

ройств - аэраторов для обеспечения заданного кислородного режима и гидродинамических условий для перемешивания иловой смеси в аэротенке. Наиболее полно современные взгляды на динамику протекания очистных процессов в аэротенке отражены в методе их расчета, изложенном в СНиП 2.04.03-85. Рассмотрим основные положения этого метода.

Период аэрации t_{atm} , ч, в аэротенках, работающих по принципу смесителей, определяется по формуле

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1-s)\rho},$$

L_{en} - БПК_{полн} поступающей в аэротенк сточной воды (с учетом снижения БПК при первичном отстаивании), мг/л; L_{ex} - БПК_{полн} очищенной воды, мг/л; a_i - доза ила, г/л, определяемая технико-экономическим расчетом с учетом работы вторичных отстойников; s - зольность ила, принимаемая по таблице 5.2; ρ - удельная скорость окисления, мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_{ex} C_O}{L_{ex} C_O + K_I C_O + K_O L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a_i},$$

ρ_{max} - максимальная скорость окисления, мг/(г·ч), принимаемая по таблице 5.2; C_O - концентрация растворенного кислорода, мг/л; K_I - константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг/л БПК_{полн} и принимаемая по таблице 5.2; K_O - константа, характеризующая влияние кислорода, мг O₂/л, и принимаемая по таблице 12.2; φ - коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г, принимаемый по таблице 5.2.

Продолжительность аэрации во всех случаях не должна быть менее 2 ч.

Т а б л и ц а 5.2

Сточные воды	ρ_{max} , мг БПК _{полн} /(г·ч)	K_I , мг БПК _{полн} /л	K_O , мг O ₂ /л	φ , л/г	s
Городские	85	33	0,625	0,07	0,3
Производственные:					
а) нефтеперерабатывающих заводов:					
I система	33	3	1,81	0,17	-
II система	59	24	1,66	0,158	-
б) азотной промышленности	140	6	2,4	1,11	-
в) заводов синтетического каучука	80	30	0,6	0,06	0,15
г) целлюлозно-бумажной промышленности:					
сульфатно-целлюлозное про-	650	100	1,5	2	0,16

Сточные воды	ρ_{max} , МГ БПК _{полн} /(Г·ч)	K_1 , МГ БПК _{полн} /л	K_O , МГ О ₂ /л	φ , л/г	s
изводство					
сульфитно-целлюлозное про-	700	90	1,6	2	0,17
изводство					
д) заводов искусственного	90	35	0,7	0,27	-
волокна (вискозы)					
е) фабрик первичной обра-					
ботки шерсти:					
І ступень	32	156	-	0,23	-
ІІ ступень	6	33	-	0,2	-
ж) дрожжевых заводов	232	90	1,66	0,16	0,35
з) заводов органического	83	200	1,7	0,27	-
синтеза					
и) микробиологической про-					
мышленности:					
производство лизина	280	28	1,67	0,17	0,15
производство биовита и ви-	1720	167	1,5	0,98	0,12
тамицина					
к) свинооткормочных ком-					
плексов:					
І ступень	454	55	1,65	0,176	0,25
ІІ ступень	15	72	1,68	0,171	0,3

Период аэрации t_{av} , ч, в аэротенках-вытеснителях рассчитывается по формуле

$$t_{av} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{max} C_O a_i (1 - s)} \left[(C_O + K_O)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l C_O \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p,$$

K_p - коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания: $K_p = 1,5$ при биологической очистке до $L_{ex} = 15$ мг/л; $K_p = 1,25$ при $L_{ex} > 30$ мг/л; L_{mix} - БПК_{полн}, определяемая с учетом разбавления рециркуляционным расходом:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} R_i}{1 + R_i},$$

R_i - степень рециркуляции активного ила;

Режим вытеснения обеспечивается при отношении длины коридоров l к ширине b свыше 30. При $l/b < 30$ необходимо предусматривать секционирование коридоров с числом ячеек пять-шесть.

Степень рециркуляции активного ила R_i , в аэротенках следует рассчитывать по формуле

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{J_i} - a_i},$$

a_i - доза ила в аэротенке, г/л; J_i - иловый индекс, см³/г.

Величина R_i должна быть не менее 0,3 для отстойников с илососами, 0,4 - с илоскребами, 0,6 - при самотечном удалении ила.

Величина илового индекса определяется экспериментально при разбавлении иловой смеси до 1 г/л в зависимости от нагрузки на ил. Для городских и основных видов производственных сточных вод допускается определять величину J_i по таблице 5.3.

Т а б л и ц а 5.3

Сточные воды	Иловый индекс J_i , см ³ /г, при нагрузке на ил q_i , мг/(г·сут)					
	100	200	300	400	500	600
Городские	130	100	70	80	95	130
Производственные:						
а) нефтеперерабатывающих заводов	-	120	70	80	120	160
б) заводов синтетического каучука	-	100	40	70	100	130
в) комбинатов искусственного волокна	-	300	200	250	280	400
г) целлюлозно-бумажных комбинатов	-	220	150	170	200	220
д) химкомбинатов азотной промышленности	-	90	60	75	90	120

Для окситенков величина J_i должна быть снижена в 1,3-1,5 раза.

Нагрузка на ил q_i , мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества ила в сутки, рассчитывается по формуле

$$q_i = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_i(1-s)t_{at}},$$

t_{at} - период аэрации, ч.

При проектировании аэротенков с регенераторами продолжительность окисления органических загрязняющих веществ t_o , ч, определяется по формуле

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i a_r (1-s) \rho},$$

R_i - степень рециркуляции активного ила; a_r - доза ила в регенераторе, г/л, определяемая по формуле

$$a_r = a_i \left(\frac{1}{2R_i} + 1 \right),$$

ρ - удельная скорость окисления для аэротенков - смесителей и вытеснителей, определяемая при дозе ила a_r .

Продолжительность обработки воды в аэротенке t_{at} , ч, определяется по формуле

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{en}}{L_{ex}}.$$

Продолжительность регенерации t_r , ч, определяется по формуле

$$t_r = t_o - t_{at}.$$

Вместимость аэротенка W_{at} , м³, по формуле

$$W_{at} = t_{at} (1 + R_i) q_w,$$

q_w - расчетный расход сточных вод, м³/ч.

Вместимость регенераторов W_r , м³, определяется по формуле

$$W_r = t_r R_i q_w.$$

Прирост активного ила P_i , мг/л, в аэротенках определяется по формуле

$$P_i = 0,8 C_{cdp} + K_g L_{en},$$

C_{cdp} - концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л; K_g - коэффициент прироста; для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод $K_g = 0,3$; при очистке сточных вод в окситенках величина K_g снижается до 0,25.

Для аэротенков и регенераторов надлежит принимать:

число секций - не менее двух;

рабочую глубину - 3-6 м, свыше - при обосновании;

отношение ширины коридора к рабочей глубине - от 1:1 до 2:1.

Аэраторы в аэротенках допускается применять:

мелкопузырчатые - пористые керамические и пластмассовые материалы (фильтросные пластины, трубы, диффузоры) и синтетические ткани;

среднепузырчатые - щелевые и дырчатые трубы;

крупнопузырчатые - трубы с открытым концом;

механические и пневмомеханические.

Число аэраторов в регенераторах и на первой половине длины аэротенков-вытеснителей надлежит принимать вдвое больше, чем на остальной длине аэротенков.

Удельный расход воздуха q_{air} , м³/м³ очищаемой воды, при пневматической системе аэрации надлежит определять по формуле

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en} - L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_0)},$$

q_0 - удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПК_{полн}, принимаемый при очистке до БПК_{полн} 15-20 мг/л - 1,1, при очистке до БПК_{полн} свыше 20 мг/л - 0,9; K_1 - коэффициент, учитывающий тип аэратора и принимаемый для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка f_{az}/f_{at} по таблице 5.4; для среднепузырчатой и низконапорной $K_1 = 0,75$; K_2 - коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов h_a и принимаемый по таблице 12.5; K_T - коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, который следует определять по формуле

$$K_T = 1 + 0,02(T_w - 20),$$

T_w - среднемесячная температура воды за летний период, °С; K_3 - коэффициент качества воды, принимаемый для городских сточных вод 0,85; при наличии СПАВ принимается в зависимости от величины f_{az}/f_{at} по таблице 12.6, для производственных сточных вод - по опытным данным, при их отсутствии допускается принимать $K_3 = 0,7$; C_a - растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, определяемая по формуле

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T,$$

C_T - растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принимаемая по справочным данным; h_a - глубина погружения аэратора, м; C_0 - средняя концентрация кислорода в аэротенке, мг/л; в первом приближении C_0 допускается принимать 2 мг/л и необходимо уточнять.

Интенсивность аэрации J_a , м³/(м²·ч), определяется по формуле

$$J_a = \frac{q_{air} H_{at}}{t_{at}},$$

H_{at} - рабочая глубина аэротенка, м; t_{at} - период аэрации, ч.

Если вычисленная интенсивность аэрации свыше $J_{a,max}$ для принятого значения K_1 , необходимо увеличить площадь аэрируемой зоны; если менее $J_{a,min}$ для принятого значения K_2 - следует увеличить расход воздуха, приняв $J_{a,min}$ по таблице 12.5.

Число аэраторов N_{ma} для аэротенков и биологических прудов следует определять по формуле

$$N_{ma} = \frac{q_O (L_{en} - L_{ex}) W_{at}}{1000 K_T K_3 \left(\frac{C_a - C_O}{C_a} \right) t_{at} Q_{ma}}$$

W_{at} - объем сооружения, м³; Q_{ma} - производительность аэратора по кислороду, кг/ч, принимаемая по паспортным данным; t_{at} - продолжительность пребывания жидкости в сооружении, ч.

Окситенки должны быть оборудованы механическими аэраторами, легким герметичным перекрытием, системой автоматической подпитки кислорода и продувки газовой фазы, что должно обеспечивать эффективность использования кислорода 90 %. Концентрацию кислорода в иловой смеси окситенка следует принимать в пределах 6-12 мг/л, дозу ила - 6-10 г/л.

Т а б л и ц а 5.4

f_{az}/f_{at}	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
$J_{a,max}$, м ³ /(м ² ·ч)	5	10	20	30	40	50	75	100

Т а б л и ц а 5.5

h_a , 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
$J_{a,min}$, м ³ /(м ² ·ч)	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

Т а б л и ц а 5.6

f_{az}/f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
K_3	0,59	0,59	0,64	0,66	0,72	0,77	0,88	0,99

5.6 Направления интенсификации работы аэрационных сооружений

Широкое применение аэрационных сооружений для очистки сточных вод ставит задачу поиска путей дальнейшей интенсификации работы этих сооружений. Под интенсификацией понимается не только повышение окислительной мощности, но и повышение эффекта или глубины очистки сточных вод в них, и всемерное сокращение затрат на обработку единицы объема очищаемой жидкости.

Существенным фактором снижения энергозатрат в процессе биологической очистки сточных вод в аэротенках может служить использование некоторых закономерностей протекания биохимических процессов микробного изъятия из раствора и последующей трансформации органических веществ. Одним из неизбежно образующихся продуктов первичной трансформации органических соединений является пероксид водорода, который может накапливаться либо в клетках микроорганизмов, либо выделяться в

окружающую жидкость. В любом случае пероксид водорода можно рассматривать как определенный запас кислорода, поскольку под воздействием фермента каталазы или пероксидазы он расщепляется на кислород и воду. Это означает, что временное прекращение подачи воздуха в аэротенк не приведет к возникновению анаэробных условий. В силу этого, постоянная аэрация иловой смеси в аэротенке не является необходимой и, следовательно, может быть заменена периодической аэрацией без ущерба для протекания аэробных процессов или для глубины очистки воды. Снижение энергозатрат при периодической аэрации происходит за счет двух основных факторов. Первый - это использование при перерыве образующихся в период аэрации количеств пероксида водорода. Второй - периодическое снижение концентрации растворенного в жидкости кислорода повышает интенсивность его переноса из воздуха в жидкость при возобновлении аэрации. По сравнению с непрерывной аэрацией периодическая аэрация позволяет уменьшить затраты электроэнергии на 25-30%.

Предложено и разработано значительное количество различных модификаций схем, направленных на глубокое удаление соединений азота одновременно с биологической очисткой воды, оптимизацию очистных процессов и снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Одноиловая схема глубокого удаления азота (рисунок 5.19) предусматривает устройство денитрификатора на первой стадии очистки, собственно аэротенка на второй последовательно работающей ступени, после которой следует этап илоотделения, включающий вторичное отстаивание с возвратом активного ила в денитрификатор. В денитрификаторе поддерживается аноксидный режим, т.е. отсутствие в среде растворенного кислорода при наличии химически связанного кислорода в форме нитритов и нитратов. В этих целях нитрифицированная иловая смесь из аэротенка подается в денитрификатор, где все содержимое перемешивается либо механическими мешалками, либо воздухом при обеспечении минимально возможного переноса кислорода из него в жидкость. В денитрификаторе происходит выделение азота в атмосферу и использование высвобождающегося кислорода для удаления БПК.

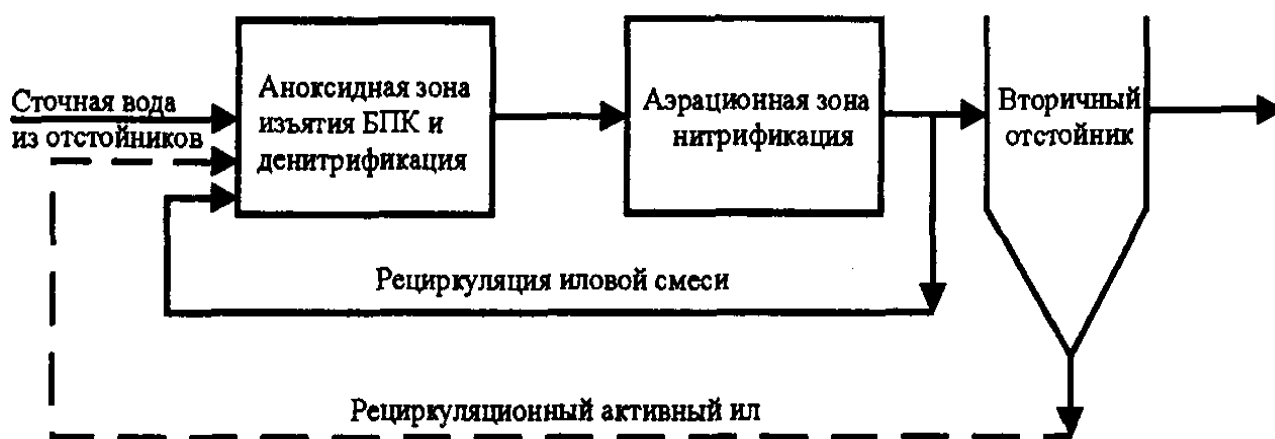


Рисунок 5.19 - Одноиловая схема работы аэротенка с удалением азота

Вторая степень системы - аэротенк, предназначена для глубокой нитрификации очищаемой сточной воды, определенная часть которой и возвращается в виде рециркуляционного потока иловой смеси в денитрификатор.

По двухиловой схеме глубокого удаления азота (рисунок 5.20) сточная вода подается сразу в аэротенк, где осуществляется удаление загрязнений по показателю ВПК и нитрификация аммонийного азота. Иловая смесь из аэротенка поступает во вторичный отстойник, откуда активный ил возвращается в аэротенк, а нитрифицированная сточная вода поступает в денитрификатор, где поддерживается аноксидный режим.

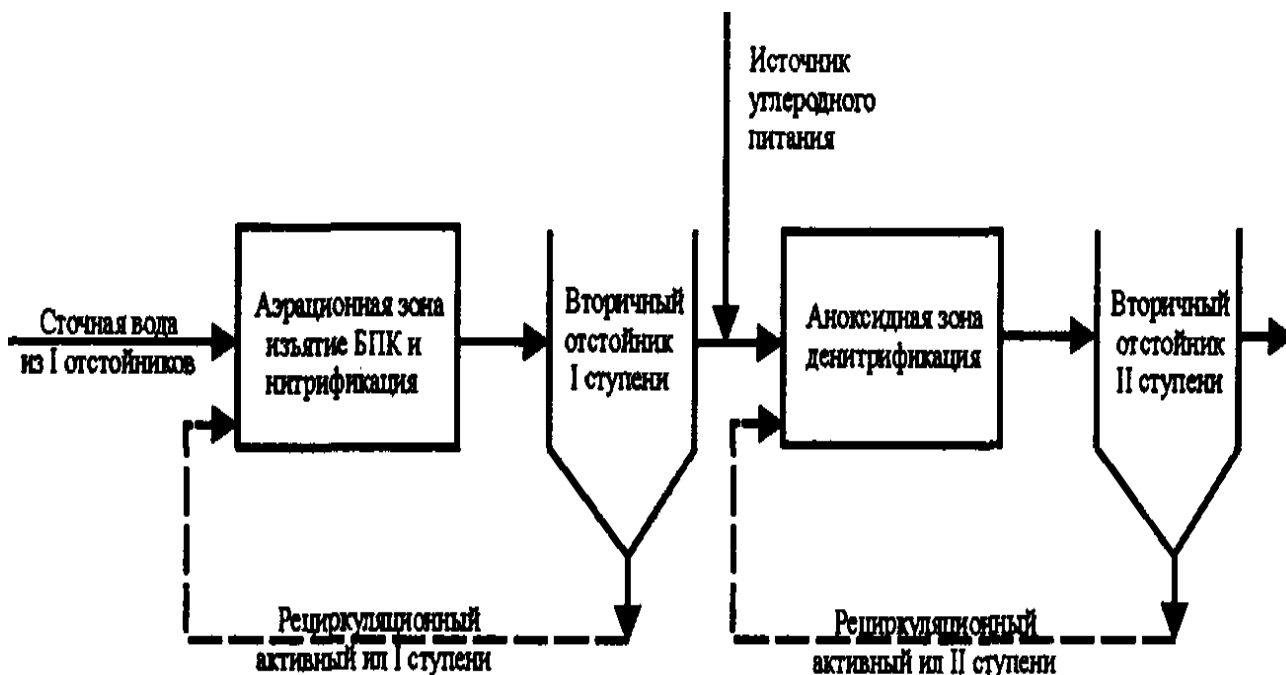


Рисунок 5.20 - Двухиловая схема работы аэротенка с удалением азота

Однако, в виду того, что углеродное питание в форме БПК было изъято из воды в аэротенке, для обеспечения процессов денитрификации требуется подпитка иловой смеси в денитрификаторе углеродным питанием. Из денитрификатора иловая смесь поступает в третичный отстойник, откуда задержанный ил возвращается в денитрификатор. Двухиловая схема позволяет поддерживать максимально адаптированный к условиям каждой степени активный ил. Однако, она требует двух этапов илоотделения для поддержания двух автономных систем рециркуляционного ила и дополнительного введения углеродного питания на стадии денитрификации. Главным преимуществом этой схемы является защита нитрификаторов от залповых нагрузок по органическим веществам, воздействия токсичных или ингибирующих процессы денитрификации веществ. Эти нагрузки в данной схеме воспринимаются аэротенком.

К преимуществам одноиловой схемы следует отнести наличие только одного этапа илоотделения и то, что не требуется внешний источник дополнительного углеродного питания.

Разработка одноиловой схемы удаления азота и, особенно, с введением процесса удаления избыточного фосфора явилась самым существенным прогрессом в технологии очистки сточных вод активным илом. Эта технология

хорошо вписывается в общую концепцию охраны поверхностных водных источников методом "зеленой инженерии", максимально совместимой с окружающей средой поскольку:

а) снижает воздействие на природные экосистемы водоема за счет снижения концентрации биогенных веществ в отводимой в него воде;

б) снижает или полностью исключает использование химикатов в процессе очистки воды, что соответственно снижает объемы осадков и илов, а также снижает вторичное воздействие на уровне производства реагентов для их обработки;

в) снижает потребление энергии в аэробной зоне за счет использования аноксидных и анаэробных биохимических процессов для снижения концентраций биоразрушаемых органических соединений;

г) снижает прирост активного ила за счет более низкого прироста биомассы в аноксидных и анаэробных условиях;

д) улучшает осаждаемость и повышает способность к влагоотдаче избыточного активного ила, снижая, таким образом, объемы вторичных отстойников и сооружений по обработке ила.

Еще одним перспективным направлением повышения окислительной мощности аэрационных сооружений является повышение рабочей дозы активного ила в них. При этом, учитывая возможности вторичного отстаивания по разделению иловой смеси, задача повышения дозы ила в аэрационном сооружении ставится таким образом, чтобы нагрузка на вторичные отстойники по концентрации ила в поступающей в них иловой смеси не превышала допустимые пределы в целях обеспечения требуемого качества осветления очищенной воды. Эта задача решается несколькими путями. Наиболее ранним из них следует признать способ предварительного разделения иловой смеси в пределах аэротенка сетчатыми насадками, задерживающими основную массу ила в аэротенке, не допуская его выноса во вторичные отстойники. К этому же методу следует отнести и разработки японских специалистов по замене вторичного отстойника мембранной технологией отделения взвешенной иловой фракции. В качестве материала для мембран изучались различные конфигурации пустот: капиллярные, полые волокна, трубчатые и пластинчатые пористые насадки. Разновидностью этого процесса можно считать установку микрофильтра с фильтрующей поверхностью из полых волокон непосредственно в аэротенке (Канада). Характерными показателями такого процесса являются следующие: концентрация ила в аэротенке составляет 15-30 г/л, длительность его пребывания в аэротенке 30-365 суток, концентрация аммонийного азота на выходе из аэротенка, т.е. после вакуумфильтра, не превышает 0,3 мг/л.

Другим направлением повышения дозы ила в аэрационном сооружении является использование нейтральных носителей для образования на них фиксированной микрофлоры. Это означает, что в аэротенке поддерживаются два вида микробиальных культур: свободно плавающая, представляющая собой активный ил в обычном его понимании и прикрепленная к плавающему в иловой смеси носителю. В качестве носителей микрофлоры используются

как плавающие, так и фиксированные установленные насадки из различных материалов различной формы, позволяющие поднять дозу ила в аэротенке до 8-10 г/л без ухудшения работы вторичных отстойников. К таким материалам можно отнести пластмассовый шнур, устанавливаемый в аэротенке в виде сетей определенного плетения, свободно плавающие губки различной формы с пористостью около 97% с внутренней и внешней поверхностью, способствующей прикреплению биомассы. В аэрационной зоне этот плавающий материал удерживается с помощью проволочных сеток, предотвращающих его вынос в отстойные сооружения. В отечественной практике разработаны сетчатые насадки из синтетических материалов под названием "Поли-Грин" и "Волан" для формирования прикрепленной биомассы в аэротенках АО Экологическая фирма - "Грин Фрог". Диаметр таких элементов составляет 30-35 мм ("Поли-Грин") и 100-110 мм ("Волан") с объемным весом 20-25 кг/м³ и 14-15 кг/м³ соответственно. Применение аэротенков с фиксированной микрофлорой наиболее целесообразно для проведения биологической очистки в режиме глубокого удаления биогенных элементов.

6 ВТОРИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ И ИЛОУПЛОТНИТЕЛИ

6.1 Вторичные отстойники

Вторичные отстойники являются составной частью сооружений биологической очистки, располагаются в технологической схеме непосредственно после биоокислителей и служат для отделения активного ила от биологически очищенной воды, выходящей из аэротенков, или для задержания биологической пленки, поступающей с водой из биофильтров.

Эффективность работы вторичных отстойников определяет конечный эффект очистки воды от взвешенных веществ.

Для технологических схем биологической очистки сточных вод в аэротенках вторичные отстойники определяют также объем аэрационных сооружений, зависящий от концентрации возвратного ила и степени его рециркуляции, способности отстойников эффективно разделять высококонцентрированные иловые смеси.

Иловая смесь, поступающая из аэротенков во вторичные отстойники, представляет собой многофазную систему, в которой дисперсионной средой служит биологически очищенная сточная вода, а основным компонентом дисперсной фазы являются хлопья активного ила, сформированные в виде сложной трехуровневой клеточной структуры, окруженной экзоклеточным веществом биополимерного состава.

Важнейшим свойством иловой смеси как дисперсной системы является ее агрегативная неустойчивость, которая выражается в изменении диаметра хлопьев активного ила в пределах 20-300 мкм в зависимости от интенсивности турбулентного перемешивания.

При снижении интенсивности турбулентного перемешивания и последующем отстаивании иловой смеси в результате биофлокуляции происходит агрегирование хлопьев активного ила в хлопья размером 1-5 мм, которые осаждаются под воздействием силы тяжести.

Осаждение хлопьев активного ила происходит с образованием видимой границы раздела фаз между осветляемой водой и илом.

Анализ кривой кинетики снижения границы раздела фаз (рисунок 6.1) позволяет выделить следующие основные стадии процесса гравитационного разделения иловых смесей:

1 - флокуляция хлопьев активного ила с образованием хлопьев и видимой границы раздела фаз;

2 - зонное осаждение хлопьев активного ила с постоянной скоростью, зависящей от начальной концентрации активного ила в иловой смеси и величины илового индекса;

3 - переходная стадия от зонного осаждения к уплотнению осевшего ила;

4 - стадия уплотнения осевшего ила за счет сжатия хлопьев активного ила под воздействием лежащих выше слоев;

5 - стадия осветления надильовой воды, при которой полидисперсные иловые частицы агломерируются под воздействием собственного скоростного градиента и турбулентной диффузии.

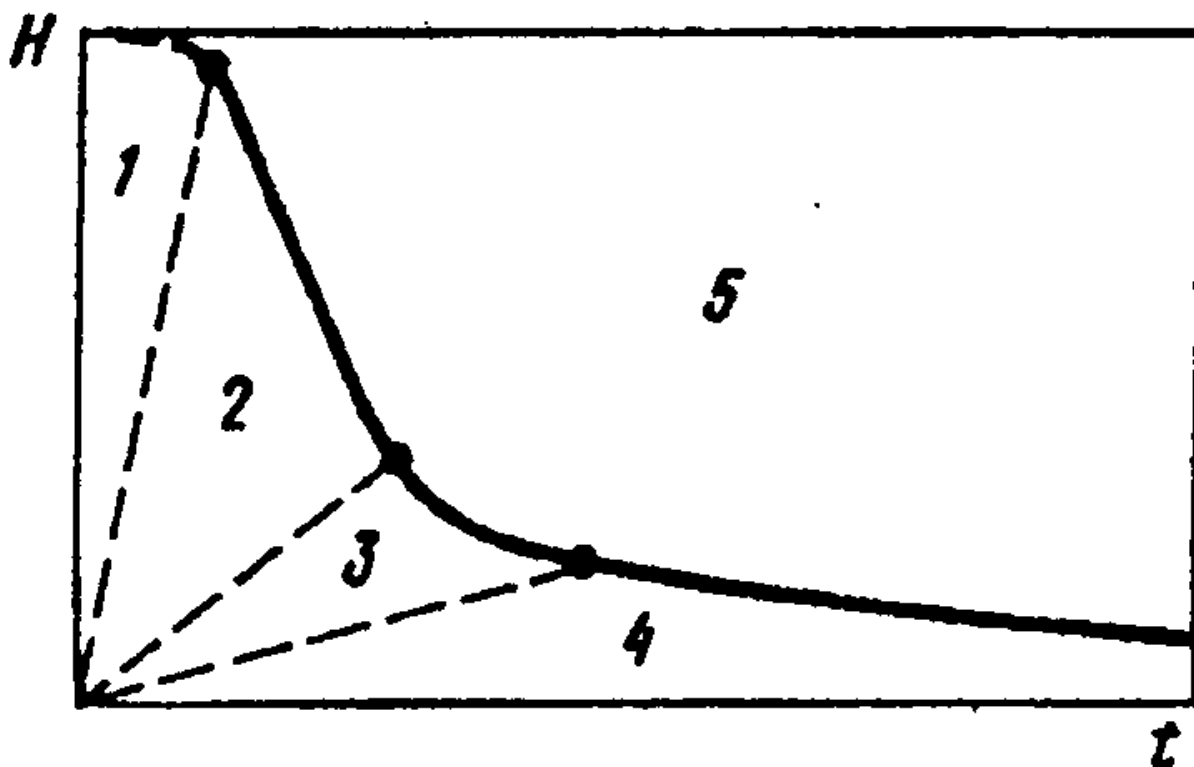


Рисунок 6.1 - Кривая кинетики снижения границы раздела фаз

Гидродинамический режим работы вторичных отстойников формируется в результате совокупного воздействия следующих гидродинамических условий:

- режима впуска иловой смеси в сооружение, оцениваемого скоростью ее входа и определяющий интенсивность взаимодействия входящего потока с потоками оседающего ила и осветляемой воды;
- процесса сбора осветленной воды, определяемого скоростью подхода воды к сборному лотку и его удаленностью от уровня осевшего ила;
- режима отсоса осевшего ила, определяемого скоростью входа ила в сосуны илососа, уровнем стояния ила и удаленностью сосунов от сборного лотка.

Количественная характеристика каждого из указанных гидродинамических факторов, полученных для радиального отстойника, выражена в градиентах скорости (рисунок 6.2).

Таким образом, разделение иловой смеси и осветление очищенной воды во вторичных отстойниках происходит в условиях турбулентного движения, которое представляет собой результирующую всех перечисленных выше компонентов, продуцирующих вихревое воздействие на поток в этом сооружении. Учет влияния турбулентного режима движения воды во вторичных отстойниках на конечную концентрацию взвешенных веществ производится как через коэффициент объемного использования, характеризующий конструкцию отстойника, так и основные технологические параметры его работы.

Интенсификация процесса гравитационного илоразделения достигается за счет низкоградиентного перемешивания иловой смеси с помощью стержневых перемешивающих устройств. Наилучшие результаты обеспечиваются при использовании стержней полукруглого сечения ($d = 50...100$ мм), воздействующих

на иловую смесь по всей высоте зоны илоразделения. Под воздействием низкоградиентного перемешивания улучшается флокуляция хлопьев активного ила, уплотняется их структура и повышается концентрация удаляемого возвратного активного ила на 20-30% при снижении конечной концентрации взвешенных веществ в осветленной воде до 8-15 мг/л по сравнению с 15-25 мг/л при гравитационном разделении иловой смеси без перемешивания.

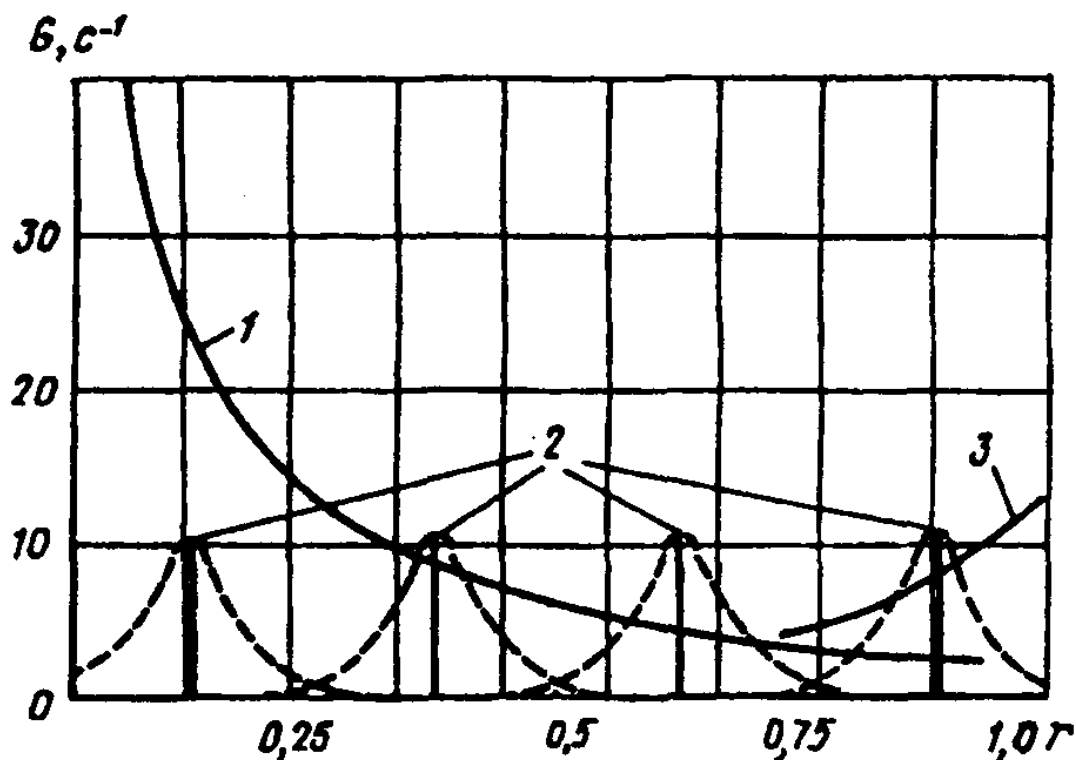


Рисунок 6.2 - Изменение градиента скорости по радиусу отстойника: 1 - под воздействием входящего потока иловой смеси; 2 - удаляемого через сосуны потока возвратного активного ила; 3 - удаляемого через сборный лоток потока осветленной воды

Повышение эффективности процесса гравитационного илоразделения достигается также при использовании взвешенного слоя активного ила, в котором, как в контактной среде, интенсифицируется хлопьеобразование с последующим доосветлением надиловой воды в слое высотой $H = 2...3$ м и возможно снижение концентрации взвешенных веществ в осветленной воде до 5...1 мг/л.

Тонкослойное отстаивание может использоваться как для предварительного разделения концентрированных иловых смесей, поступающих непосредственно из аэротенков, так и для осветления надиловой воды после гравитационного отделения основной массы активного ила. Тонкослойное отстаивание осветляемой надиловой воды наиболее эффективно в сочетании с низкоградиентным перемешиванием отстаиваемой иловой смеси на всех стадиях илоразделения.

Вторичные отстойники бывают вертикальными, горизонтальными и радиальными. Для очистных станций пропускной способности до 20000 м³/сут применяются вертикальные вторичные отстойники, для очистных станций средней и большой пропускной способности (более 15000 м³/сут) - горизонтальные и ради-

альные.

Вертикальные вторичные отстойники по своей конструкции подразделяются на:

- круглые в плане с конической иловой частью, по конструкции аналогичные первичным, но с меньшей высотой зоны отстаивания;
- квадратные в плане (12x12 м, 14x14 м) с четырех бункерной пирамидальной иловой частью.

Преимуществом вертикальных вторичных отстойников являются удобство удаления из них осевшего ила под гидростатическим давлением, компактность расположения при их блокировке с аэротенками, простота конструкции ввиду отсутствия движущихся частей, возможность использования взвешенного слоя активного ила.

Горизонтальные вторичные отстойники выполняются с шириной отделения 6 и 9 м, что позволяет блокировать их с типовыми аэротенками, сокращая при этом площадь, занимаемую очистными сооружениями. Для сгребания осевшего активного ила к иловому приемку в горизонтальных отстойниках используют скребковые механизмы цепного или тележечного типов.

На средних и крупных очистных станциях наибольшее распространение получили вторичные радиальные отстойники. Разработаны типовые вторичные радиальные отстойники из сборного железобетона ($d = 18, 24, 30, 40$ и 50 м), что позволяет принимать оптимальное их число (4-8) на очистных станциях практически любой пропускной способности.

Вторичный радиальный отстойник показан на рисунке 6.3. Смесь по подводящему трубопроводу направляется в центральное распределительное устройство, представляющее собой вертикальную стальную трубу с коническим раструбом, затопленным ниже уровня воды в отстойнике. Иловая смесь по подводящему трубопроводу направляется в центральное распределительное устройство, представляющее собой вертикальную стальную трубу с коническим раструбом, затопленным ниже уровня воды в отстойнике. Выходя из раструба, иловая смесь попадает в пространство, ограниченное стенками металлического направляющего цилиндра, который обеспечивает заглубленный выпуск иловой смеси в отстойную зону. Осветленная вода собирается через водослив сборного кольцевого лотка, откуда поступает в выпускную камеру. Активный ил, осевший на дно отстойника, Удаляется самотеком под гидростатическим давлением через сосуны илососа и илопроводу в иловую камеру. В ней установлен щитовой электрифицированный затвор с подвижным водосливом, обеспечивающим возможность как ручного, так и автоматического регулирования отбора активного ила из отстойника путем плавного изменения гидростатического напора от 0 до 1,2 м. Работа затвора автоматизируется в зависимости от уровня стояния активного ила в отстойнике, который фиксируется датчиком уровня ила с фотоспротивлением. Редуктор привода фермы илососа позволяет регулировать угловую скорость вращения илососа в пределах 1-2 об/ч. Для опорожнения отстойника служит трубопровод.

Для обеспечения минимального выноса загрязнений из вторичных отстойников большое значение имеет тщательное сгребание и постоянное удаление выпадающего в осадок активного ила. При залеживании ила на днище, особенно при достаточно глубокой развитости процесса нитрификации в аэротенках, возможна и практически неизбежна его денитрификация, приводящая к всплыванию комков ила и его выносу с потоком осветленной воды. Опыт эксплуатации горизонтальных вторичных отстойников показал, что при прочих равных условиях, отстойники с цепными илоскребами обеспечивают вынос взвешенных веществ 8-10 мг/л против 15-20 мг/л в отстойнике с мостовым илоскребом. Этот эффект объясняется непрерывностью удаления активного ила и меньшим взмучивающим влиянием цепного илоскреба по сравнению с мостовым.

Аналогичным образом на процесс илоразделения воздействует режим впуска иловой смеси, в частности, более высокие скорости ее ввода в радиальные отстойники, чем в горизонтальные, объясняют в 1,5-2 раза меньший конечный вынос взвешенных веществ в горизонтальных отстойниках по сравнению с радиальными. Очевидно, что для вторичных отстойников, особенно радиальных, при расчете гидравлической нагрузки следует учитывать коэффициент рециркуляции активного ила, а сама нагрузка не должна превышать 1,0-1,5 м³/(м²-ч).

Вторичные вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники после аэротенков рассчитывают по гидравлической нагрузке воды на поверхность отстойника

$$q_{ssa} = 4,5 K_{set} H_{set}^{0,8} / (0,1 I_i a_i)^{0,5-0,01at} t, \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч}),$$

H_{set} - глубина слоя осветляемой воды в отстойнике, м; K_{set} - коэффициент использования объема, зависящего от типа отстойника; I_i - иловый индекс, определяемый в зависимости от нагрузки на ил в аэротенках, мг/г; a_i - доза активного ила в иловой смеси, поступающей из аэротенков, г/л; a_r - требуемая конечная концентрация иловых частиц в осветленной биологически очищенной воде.

Определяется площадь вторичных отстойников F_{ssa} , м² (с учетом коэффициента рециркуляции)

$$F_{ssa} = q_{mid} K_{qeu} / q_{ssa}.$$

Принимается число вторичных отстойников (желательно не менее 4) и определяется их диаметр d , м, для горизонтальных отстойников длина и ширина.

$$d = \sqrt{\frac{4F_{ssa}}{\pi n}}.$$

После подбора ближайшего по размеру типового отстойника определяется продолжительность пребывания ила во вторичном отстойнике t_{mud} , ч, необходимая для обеспечения требуемой дозы ила, рециркулируемого в аэротенки,

$$t_{\text{mud}} = I_i a_{\text{mud}} / 500.$$

Определяется требуемый уровень стояния ила в отстойнике h_{mud} , м

$$h_{\text{mud}} = t_{\text{mud}} q_{\text{ssa}} (a_i - a_t) / a_{\text{mud}}.$$

Рассчитывается концентрация активного ила в воде, выделяющейся из иловой смеси,

$$a_i = 10^{-3} I_i a_i \exp[6,6 v^{0,33} h_{\text{mud}}^{-0,5} (0,1 I_i a_i)^{-0,33} G^{-0,33}]$$

Определяется концентрация взвешенных веществ в осветленной воде

$$a_i = 10^{-3} I_i a_i \exp[3,4 v^{0,33} h_{\text{set}}^{-0,5} t_{\text{set}}^{0,33} (10^{-3} I_i a_s)^{-0,25} G^{-0,33}]$$

G - градиент скорости, $G = 1 \text{ с}^{-1}$ - при обычном отстаивании, $G = 2 \dots 3 \text{ с}^{-1}$ - при низкоградиентном перемешивании иловой смеси; a_t - следует принимать не менее 10 мг/л; a_i - не более 15 г/л.

Нагрузка на 1 м сборного водослива осветленной воды принимается не более 8-10 л/с.

Гидравлическая нагрузка на илоотделители для окситенков или аэротенков-отстойников, работающих в режиме осветлителей со взвешенным осадком, зависящую от параметра $a_i J_i$, принимается по таблице 6.1.

Т а б л и ц а 6.1

$a_i J_i$	100	200	300	400	500	600
$q_{\text{ms}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$	5,6	3,3	1,8	1.2	0,8	0,7

Расчет флотационных установок для разделения иловой смеси ведется в зависимости от требуемой степени осветления по содержанию взвешенных веществ согласно таблицы 6.2.

Т а б л и ц а 6.2

Параметр	Содержание взвешенных веществ, мг/л		
	15	10	5
Продолжительность флотации, мин	40	50	60
Удельный расход воздуха, л/кг взвешенных веществ ила	4	6	9

Давление в напорном резервуаре следует принимать 0,6-0,9 МПа (6-9 кгс/см²), продолжительность насыщения 3-4 мин.

6.2 Уплотнение илов и осадков сточных вод

Осаждающийся во вторичных отстойниках активный ил имеет высокую влажность. Основная часть этого ила поступает на регенерацию и снова подается в аэротенк. В результате развития микроорганизмов масса активного ила, находящегося в системе "аэротенк - вторичный отстойник", непрерывно увеличивается и образуется так называемый избыточный активный ил, который отделяется от рециркуляционного и направляется на дальнейшую обработку для стабилизации и обезвоживания.

Прирост активного ила зависит от содержания в очищаемой воде взвешенных и растворенных веществ и от эффективности работы первичных отстойников. Массу избыточного активного ила на станциях аэрации определяют суммированием масс ила, удаляемого из системы выносом с очищенной водой и перекачиваемого на дальнейшую обработку. Прирост активного ила колеблется в течение года, уменьшаясь в летние месяцы.

По схеме "а" (рисунок 6.4) избыточный активный ил непрерывно поступает в илоуплотнитель, где отдает основную массу свободной влаги в виде иловой воды. Осадок из илоуплотнителя подается на дальнейшую обработку. Отделенная иловая вода содержит значительное количество растворенных органических загрязнений поэтому она возвращается в цепочку очистки воды перед аэротенками.

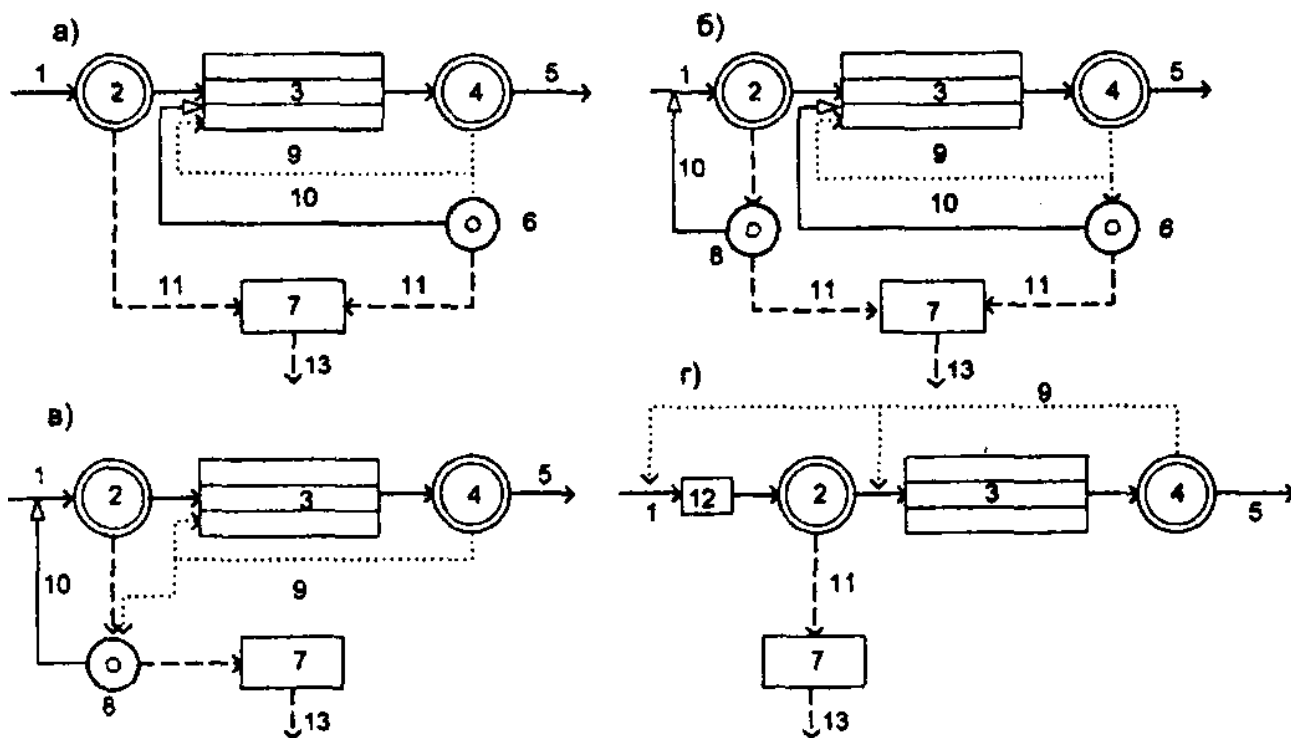


Рисунок 6.4 - Варианты технологического расположения уплотнителей на схеме станции очистки сточных вод с использованием аэротенков: 1, 5 - подача сточных вод и отведение очищенной воды; 2 - первичный отстойник; 3 - аэротенк; 4 - вторичный отстойник; 6 - илоуплотнитель; 7 - блок обработки осадков; 8 - осадкоуплотнитель; 9 - активный ил; 10 - иловая вода; 11 - осадок; 12 - преаэратор; 13 - обработанный осадок

Применение схемы "б" предполагает непрерывность отбора осадка из первичного отстойника с большей влажностью и последующим доуплотнением его в отдельном уплотнителе. Это позволяет стабилизировать процессы отстаивания и уплотнения и, при необходимости, увеличить производительность первичных отстойников. Отделенная в этой схеме вода, содержащая до 150 мг/л взвешенных веществ, подаётся перед первичными отстойниками.

Уплотнением избыточного активного ила совместно с осадком первичных отстойников по схеме "в" достигается некоторое снижение влажности получаемого осадка. При совместном уплотнении активного ила и осадка первичных отстойников уплотнитель целесообразно использовать как резервуар-регулятор расхода осадка для последующей его обработки.

По схеме "г" уплотнение осадков осуществляется без илоуплотнителей. Активный ил подается в преаэраторы в объеме, превышающем его избыточное количество, откуда со сточной водой поступает в первичные отстойники. Выносимый из первичных отстойников активный ил компенсирует недостающую часть циркулирующего активного ила, подающегося на аэротенки. Таким образом, в преаэраторы подается такая часть активного ила, которая превышает его избыточное количество, но позволяет выделить в первичных отстойниках весь избыточный активный ил. Эта схема дает возможность получать один вид осадка - смесь сырого осадка и активного ила.

На выбор оптимальной схемы уплотнения существенное влияние оказывает не только тип уплотнителя, но и свойства активного ила, которые зависят от состава сточных вод, степени очистки, условий подготовки ила. Так, иловая смесь из аэротенков уплотняется быстрее, чем активный ил из вторичных отстойников, а активный ил при неполной биологической очистке уплотняется значительно лучше, чем при полной биологической очистке.

Для уплотнения избыточного активного ила на очистных сооружениях используют вертикальные и радиальные илоуплотнители гравитационного типа или флотационные илоуплотнители, работающие по принципу компрессионной флотации.

Гравитационное уплотнение - наиболее распространенный прием уменьшения объема избыточного активного ила. Оно в значительной мере уменьшает объем сооружений и затраты электроэнергии, необходимые для последующей его обработки. Конструкции вертикальных и радиальных уплотнителей аналогичны конструкциям первичных отстойников.

Сбор и удаление осадка в радиальных илоуплотнителях осуществляется илоскребами или илососами. Сопоставление работы вертикальных илоуплотнителей с радиальными, оборудованными илоскребами и илососами, показало, что наибольшей эффективностью отличаются радиальные илоуплотнители с илоскребами. Это объясняется медленным перемешиванием активного ила в процессе уплотнения, а также меньшей высотой радиальных илоуплотнителей по сравнению с вертикальными. При перемешивании снижаются вязкость активного ила и его электрокинетический потенциал, что способствует лучшему хлопьеобразованию и осадению. По-

этому в современных конструкциях илоуплотнителей предусматривается устройство низкоградиентных мешалок (рисунок 6.5). Расстояние между стержнями 0,3 м, частота вращения илоскреба 2 - 4 ч⁻¹.

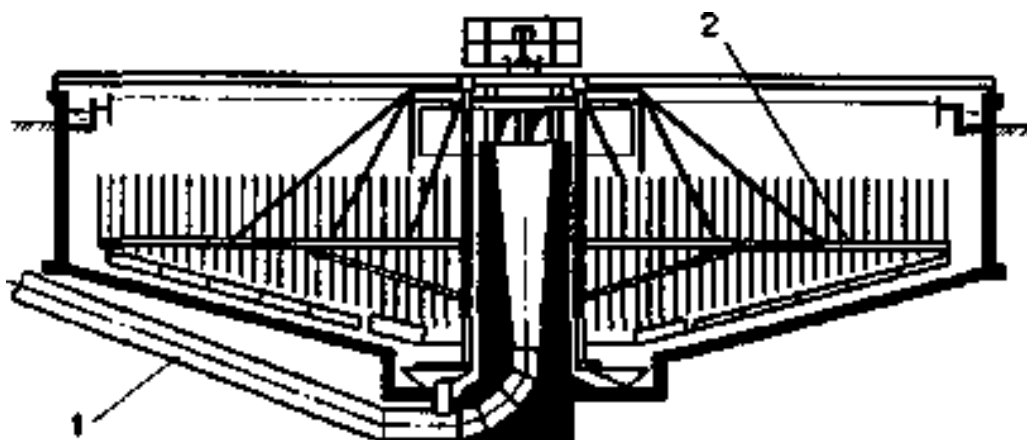


Рисунок 6.5 - Радиальный илоуплотнитель со стержневой мешалкой:

1 - подводный трубопровод; 2 - илоскреб с вертикальной решеткой

Флотационное уплотнение активного ила позволяет предотвратить его загнивание, сократить продолжительность уплотнения и объемы сооружений.

Флотаторы для уплотнения избыточного активного ила обычно представляют собой резервуары круглые в плане диаметром 6, 9, 12, 15, 18, 20, 24 м и глубиной 2-3 м, различающиеся внутренним оборудованием.

Внутри корпуса (рисунок 6.6) в верхней его части устраивается концентрическая, не достающая до дна перегородка, разделяющая его на флотационную и отстойную зоны.

Избыточный активный ил, предварительно насыщенный воздухом под давлением, подается в пространство между зонами флотации и отстаивания равномерно по сечению флотатора. Продолжительность пребывания активного ила во флотационной зоне составляет 0,2-0,33 ч. Насыщенный пузырьками воздуха активный ил всплывает и удаляется в желоб подвижным скребком. Нижняя часть флотатора (зона осаждения) используется для выделения крупных частиц, имеющих плотность более 1,0. Продолжительность пребывания ила в этой зоне 2-3 ч. Осевшая часть избыточного ила удаляется под гидростатическим давлением.

При удельном расходе воздуха 10-15 дм³/кг сухого вещества активного ила концентрация уплотненного активного ила достигает 30-50 кг/м³ при содержании взвешенных веществ в удаляемой жидкости 200-300 мг/л.

Диспергирование воздуха в иловой смеси флотационных илоуплотнителей осуществляется двумя способами: непосредственным насыщением воздухом всего объема ила; путем насыщения воздухом циркулирующей части осветленной воды из вторичных отстойников.

Наибольший эффект уплотнения достигается при использовании схемы компрессионной флотации с возвратом части воды для приготовления рабочей жидкости. Рабочая жидкость насыщается воздухом в напорном баке под

давлением 0,3-0,8 МПа в течение 2-6 мин с одновременным перемешиванием циркуляционным насосом или без него.

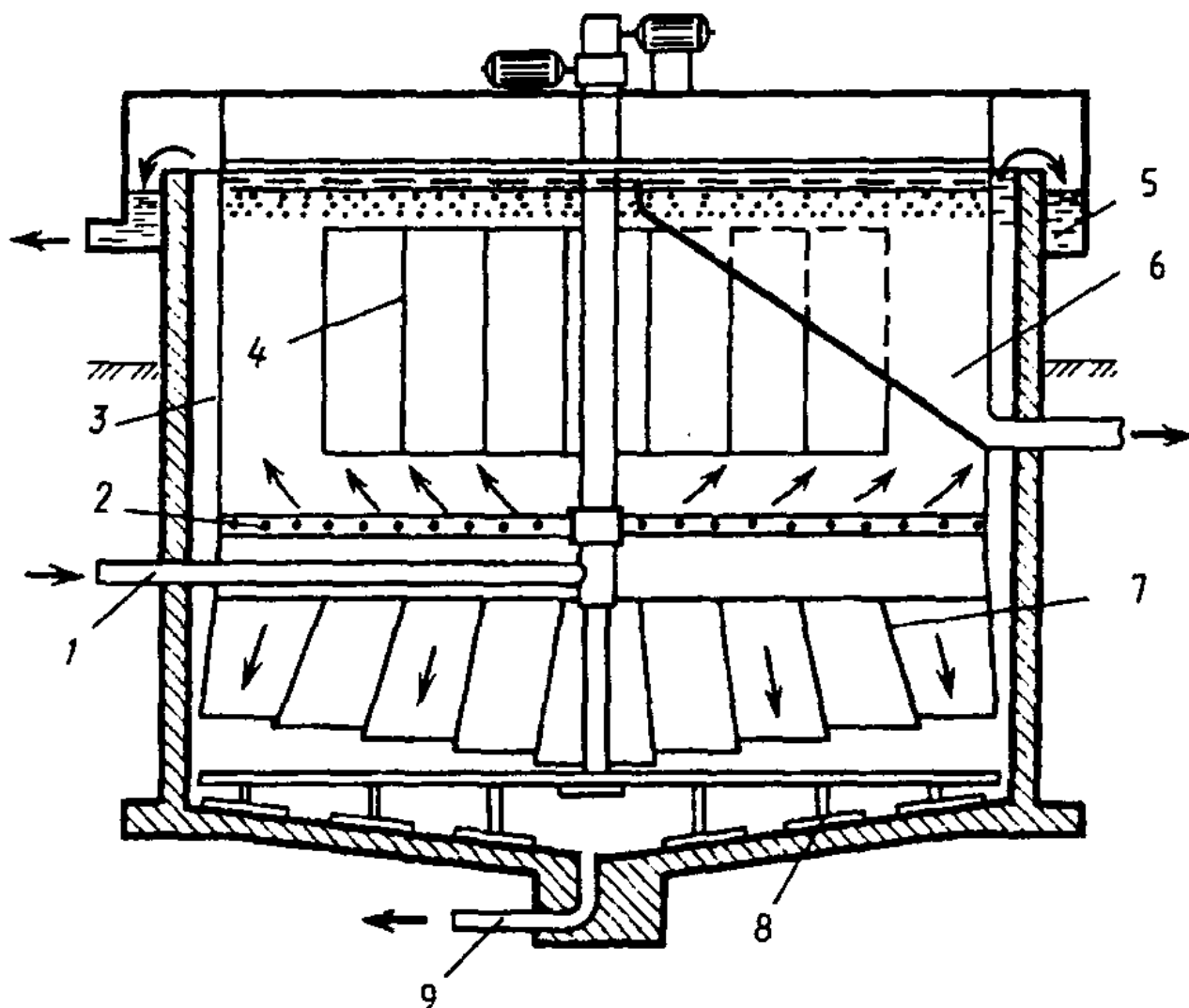


Рисунок 6.6 - Флотационный илоуплотнитель: 1 - подача иловой смеси; 2 - вращающийся дырчатый распределитель; 3 - периферийная перегородка; 4 - концентрические перегородки; 5 - кольцевой водоотводящий лоток; 6 - илосборный лоток; 7 - конические перегородки; 8 -скребковое устройство; 9 - отвод осадка, опорожнение уплотнителя

Флотационный метод илоуплотнения обладает двумя важными преимуществами: позволяет применять компактные сооружения с небольшой поверхностью и малым объемом; обеспечивает эффективное уплотнение осадков с коллоидной структурой.

К недостаткам метода относятся более высокие по сравнению с гравитационным уплотнением эксплуатационные затраты и невозможность накопления большого количества ила в уплотнителе. Практический опыт показал, что уплотнение сырого осадка, а также сырых и стабилизированных смесей осадков наиболее эффективно происходит в гравитационных уплотнителях. Флотационное уплотнение рекомендуется для флокулообразующей структуры активного ила, причем концентрация по сухому веществу перед подачей

на флотацию не должна превышать 6-8 г/л.

Концентрация избыточного активного ила, продолжительность уплотнения, скорость движения жидкости в отстойной зоне принимаются по таблице 6.3.

Таблица 6.3 - Показатели уплотнения в гравитационных уплотнителях

Вид уплотняемого ила	Влажность уплотненного ила, %		Продолжительность уплотнения, ч		Скорость движения жидкости в проточной части вертикального уплотнителя, мм/с
	Тип уплотнителя				
	Вертикальный	Радиальный	Вертикальный	Радиальный	
Иловая смесь из аэротенков с концентрацией 1.5-3 кг/м ³	—	97,3	—	5-8	—
Активный ил из вторичных отстойников с концентрацией 4-6 кг/м ³	98	97,3	10-12	9-11	0,1
Активный ил из зоны отстаивания аэротенков-отстойников с концентрацией 4,5 - 6,5 кг/м ³	93	97	16	12-15	0,1
Смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	93-95	93-95	7-10	7-10	<0.3

Расчет илоуплотнителей. Основные данные для проектирования гравитационных уплотнителей приведены в таблице 6.3.

Вертикальный и радиальный илоуплотнители. Расчет илоуплотнителя ведут на максимальный часовой приток избыточного активного ила в м³/ч:

$$Q_{max} = P_{max} Q / 24C$$

Q - расчетный расход сточных вод, м³/сут; C - концентрация уплотняемого избыточного активного ила, г/м³; P_{max} - прирост ила, г/м³, $P_{max} = K_m P$.

K_m - коэффициент месячной неравномерности прироста ила, равный 1,15-1,2

Высота проточной части илоуплотнителя, м,

$$h = 3,6V \tau,$$

V – скорость движения жидкости, мм/с; τ – продолжительность уплотнения.

Общий объем гравитационных илоуплотнителей определяется в зависимости от продолжительности уплотнения.

$$W = q_{max} \tau.$$

Количество илоуплотнителей n принимают не менее двух. Вместимость зоны накопления осадка W_0 илоуплотнителя рассчитывают по периоду пребывания в ней ила:

$$W_0 = q_{max} \tau_0 / n (100 - P_1 / 100 - P_2)$$

P_1, P_2 - влажность поступающего и уплотненного ила, %; τ_0 - продолжительность пребывания ила в зоне накопления, при выгрузке его 1 раз в смену, принимаемая равной 8 ч.

Если, согласно расчетам, необходимо применение более четырех вертикальных илоуплотнителей диаметром $D = 9$ м, то целесообразным является применение илоуплотнителей радиального типа.

Радиальный илоуплотнитель. Полезная площадь поперечного сечения радиального илоуплотнителя, m^2 ,

$$F = q_{max} / q_f$$

q_f - расчетная нагрузка на площадь зеркала уплотнителя $m^3/(m^2 \cdot ч)$, принимаемая в зависимости от концентрации поступающего на уплотнение активного ила: $q_f = 0,5$ при $C = 2-3$ кг/ m^3 и $q_f = 0,3$ при $C = 5-8$ кг/ m^3 .

Высота рабочей части илоуплотнителя

$$H = q_f \tau,$$

τ - продолжительность уплотнения, принимаемая равной 5-8 ч при $C = 2-3$ г/л и 10 ч при $C = 5-7$ г/л.

Общая высота илоуплотнителя

$$H_{общ} = H + h + h_б,$$

H - высота рабочей зоны, м; h - высота зоны залегания ила, равная 0,3 м при илоскребе и 0,7 м при илососе; $h_б$ - высота бортов над уровнем воды, м.

Флотационный илоуплотнитель. При проектировании флотационного уплотнителя принимают:

- удельную нагрузку по сухому веществу 5-10 кг/ ($m^2 \cdot ч$);
- гидравлическую нагрузку не более 5 $m^3/ (m^2 \cdot ч)$;

– удельный расход воздуха 10-20 дм³/ кг сухого вещества ила.

Влажность уплотненного осадка принимают: при уплотнении без полиэлектролитов 95-97 %, с применением полиэлектролитов 94-96,5 % в соответствии с дозой полиэлектролита и нагрузкой.

Концентрация активного ила в иловой воде, выделяемой в илоуплотнителе, составляет 50-100 мг/л. Иловая вода после флотационных илоуплотнителей обычно подается в аэротенки.

Флотационные илоуплотнители рассчитывают по гидравлической нагрузке на поверхность зеркала q_f , которую принимают в зависимости от произведения илового индекса J_i , дм³/кг, на концентрацию поступающего ила a_i , кг/дм³ по таблице 6.4.

Таблица 6.4

$J_i a_i$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
q_f	12	10	9	8	7,5	6,7

Продолжительность пребывания активного ила в зоне уплотнения $t = 2-3$ ч, влажность уплотненного ила $P = 95-97\%$. Продолжительность пребывания иловоздушной смеси в напорном баке 2-4 мин, давление насыщения воздухом 0,3-0,4 МПа.

Для повышения производительности сооружений применяют модули с тонкослойным осаждением и оборудование, обеспечивающее медленное перемешивание в зоне уплотнения.

Повышение степени уплотнения и сокращение продолжительности процесса достигают прогреванием, добавкой химических реагентов, разбавлением активного ила очищенной сточной водой, а также совместным уплотнением ила с осадком первичных отстойников.

Для интенсификации флотационного процесса илоуплотнения и повышения концентрации выгружаемого осадка в ряде случаев используют добавление полиэлектролитов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Водный кодекс Российской Федерации. М.: «Ось-89». 1995. - 80 с
2. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. - М.: Высшая школа, 1978. - 268с
3. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. - М.: Стройиздат, 1991. - 129с.
4. Жмур Н.С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. - М.: Луч, 1997. - 172 с.
5. Жмур Н.С. Интенсификация процессов удаления соединений азота и фосфора из сточных вод. - М.: АКВАРОС, 2001. - 94 с.
6. Жуков А.И., Карелин Я.А., Колобанов С.К., Яковлев С.В. Канализация. Изд. 4-е / Под ред. проф. А.И. Жукова. - М.: Изд. литературы по строительству, 1969.
7. Калицун В.И. Водоотводящие системы и сооружения. Учебник для ВУЗов. М.: Стройиздат, 1987. - 336 с
8. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Журов В.Н., Репин Б.Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. - М.: Стройиздат, 1973. - 223 с.
9. Карелин Я.А., Журов В.Н., Жуков Д.Д. Очистка сточных вод в биологических прудах М.: МИСИ. 1986. -72 с.
10. Леонова Л.И., Ступина В.В. Водоросли в доочистке сточных вод. — Киев: Наукова думка, 1990. - 183 с.
11. Москвитин Б.А., Мирончин Г.М., Москвитин А.С. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений. М.: Стройиздат, 1984.-192 с,
12. Одум Ю. Основы экологии. - М.: Мир, 1975. - 740 с.
13. Проектирование сооружений для очистки сточных вод. Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85. М.: Стройиздат, 1990. -192 с.
14. СНиП 2.04.03-85 Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1986.
15. Федоров Н.Ф., Курганов А.М., Алексеев М.И. Канализационные сети. Примеры расчетов. Учебное пособие для ВУЗов 3-е изд. М.: Стройиздат, 1985. - 223 с.
16. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Калицун В.И. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для ВУЗов. М., Стройиздат, 1996. - 591 с.
17. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биологические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1981. - 200 с.

