

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 25.09.2026 10:35:50
Уникальный программный идентификатор:
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Строительный институт

Кафедра водоснабжения и водоотведения

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Методические указания
к выполнению курсового проекта
для обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство»,
программа подготовки «Водоснабжение и водоотведение»

Составитель
Е. И. Вялкова,
кандидат технических наук, доцент

Тюмень
ТИУ
2018

Технология очистки сточных вод: методические указания к выполнению курсового проекта для обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство», программа подготовки «Водоснабжение и водоотведение» / сост. Е. И. Вялкова; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень: Издательский центр БИК ТИУ, 2018 – 32 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры водоснабжения и водоотведения «28» августа 2018 года, протокол № 1

Аннотация

Методические указания предназначены для выполнения курсового проекта по дисциплине «Технология очистки сточных вод» для обучающихся по направлению 08.04.01 – Строительство по программе Водоснабжение и водоотведение.

Методические указания способствуют развитию знаний и навыков у обучающихся по проектированию современных систем очистки сточных вод небольших объектов и малых населенных пунктов, опираясь на теоретический материал, нормативную базу, отечественный опыт в данной сфере. Методические указания составлены с учётом изменений и дополнений, внесённых в действующие нормативные документы, содержат приложения с нормативными и справочными данными, таблицы для выполнения расчётов и список литературы, необходимой для выполнения курсового проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Проектирование канализационных очистных сооружений.....	5
3 Сооружения грубой механической очистки	7
4 Сооружения биологической очистки	8
5 Доочистка и обеззараживание сточных вод.....	10
6 SBR – реакторы очистки сточных вод	12
7 Подбор типовых малогабаритных канализационных очистных сооруже- ний.....	15
8 Сооружения по обработке осадков сточных вод	17
9 Список используемых источников	18
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример расчета концентраций НДС для малогабарит- ных КОС.....	19
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Пример расчета аэротенка с зонами нитрификации и денитрификации	20
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Пример расчета напорных фильтров	27
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Пример расчета фильтр-пресса для обработки осад- ков.....	30

1 Введение

Курсовой проект на тему «Технология очистки сточных вод» выполняется для обобщения и закрепления теоретических и практических знаний, полученных обучающимися по дисциплине «Технология очистки сточных вод».

Данный курсовой проект выполняется на основании задания для соответствующего уровня обучения (магистратура), выданного преподавателем. Примерная тематика курсовых проектов: Канализационные очистные сооружения объектов городской инфраструктуры; Канализационные очистные сооружения малых населенных пунктов; Малогабаритные очистные сооружения загородных рекреационных объектов; Малогабаритные очистные сооружения вахтовых поселков, входящих в инфраструктуру нефтегазодобывающих предприятий.

Предлагается следующий примерный состав проекта:

Пояснительная записка должна включать следующие разделы:

1. Определение расчетных расходов сточных вод населенного пункта.
2. Расчет концентраций нормативно-допустимого сброса и выбор технологической схемы очистки локальной очистной станции поверхностного стока.
3. Выбор и обоснование технологической схемы очистки.
4. Расчет усреднителя по расходам воды.
6. Подбор малогабаритной канализационной очистной станции.
6. Расчет сооружений и подбор оборудования по обработке осадков сточных вод.
7. Схема технологического баланса очистной станции по воде и осадкам.
8. Список используемых источников.

Общий объем пояснительной записки – 20-30 страниц формата А4. Пояснительная записка оформляется при помощи стандартных офисных программных продуктов: Windows, Excel. Шрифт 14, Times New Roman, расстояние между строк 1,15.

Графическая часть включает в себя 2-3 листа формата А1-А3.

1. Генплан населенного пункта с сетями канализации и канализационной очистной станции (М1:500, М1:1000).
2. Необходимые схемы, узлы и детали канализационной очистной станции (М1:500, М1:1000).
3. Спецификации и условные обозначения (таблицы выносятся на лист с планом/генпланом или прикладываются на отдельных листах формата А4 или А3).

Формат чертежей выбирается обучающимся самостоятельно. Графическая часть выполняется при помощи программного продукта AutoCAD и прилагается к пояснительной записке в распечатанном виде.

2 Проектирование канализационных очистных сооружений

Основным нормативным документом при проектировании канализационных очистных сооружений, в том числе и в суровых климатических условиях, является СП32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85*[1].

Согласно СП [1], для очистки сточных вод могут быть применены биологический, биолого-химический, физико-химический методы. Выбор метода очистки должен быть определен его технико-экономическими показателями, условиями сброса сточных вод в водные объекты, наличием транспортных связей и степенью освоения района, типом населенного места (постоянный, временный), наличием реагентов и с учетом других факторов. При выборе метода и степени очистки учитывать температуру сточных вод, холостые сбросы водопроводной воды, изменения концентрации загрязняющих веществ за счет разбавления. Биологическую очистку сточных вод следует предусматривать только в искусственных сооружениях.

Размещение очистных сооружений рекомендуется предусматривать закрытых отапливаемых зданиях при производительности до 3 - 5 тысяч м³/сут. При большей производительности и соответствующих теплотехнических расчетах очистные сооружения могут располагаться на открытом воздухе с обязательным устройством над ними шатров, проходных галерей и т.п. При этом необходимо предусматривать мероприятия по защите сооружений, механических узлов и устройств от обледенения, ветро- и снегозащитные мероприятия (шатры, навесы, перегородки, проходные галереи между зданиями и сооружениями и т.п.).

Очистные сооружения следует применять полной, либо высокой заводской готовности. Установки физико-химической очистки предпочтительней для вахтовых и временных поселков, профилакториев и населенных пунктов, отличающихся большой неравномерностью поступления сточных вод, низкой температурой и концентрацией загрязняющих веществ.

Обработку осадка рекомендуется осуществлять в искусственных сооружениях.

Технологические процессы перекачки и очистки сточных вод должны быть максимально механизированными и автоматизированными.

Санитарно-защитные зоны от канализационных сооружений до границ жилой застройки, общественных зданий и предприятий пищевой промышленности следует принимать максимально допустимыми с учетом соответствующих мероприятий, обеспечивающих такое сокращение (размещение сооружений с подветренной стороны по отношению к застройке, устройство закрытых сооружений и т.д.). При проектировании необходимо учитывать низкую самоочищающую способность водных объектов, их

полное перемерзание или резкое сокращение расходов в зимний период.[1,2]

Эффективность очистки и технологическую схему КОС подбирают на основании расчетных концентраций НДС. [2]. Пример расчета НДС приведен в Приложении А.

Расчет концентраций НДС и выбор технологической схемы осуществляется с учетом состояния приемника сточных вод – водоема. Допустимая концентрация по различным загрязнениям в сточных водах, определяется по формуле предложенной в [2]:

$$C_{ндс} = n \cdot (C_{ндк} - C_{\phi}) + C_{\phi}, \quad (1)$$

где n – кратность общего разбавления в водотоке, определяемая по утвержденной методике как равная произведению кратности начального разбавления (n_n) на кратность основного разбавления (n_o), возникающее при перемещении воды от места выпуска к расчетному створу, по формуле:

$$n = n_n \cdot n_o \quad (2)$$

$C_{пдк}$ – предельно-допустимая концентрация данного вещества в воде водного объекта, мг/л; C_{ϕ} – фоновая концентрация данного вещества в воде водного объекта, мг/л.

Кратность основного разбавления определяется по методике И. А. Фролова- В. Д. Родзиллера при соблюдении следующего неравенства отношения сбрасываемого расхода к расходу речной воды:

$$0,0025 \leq \frac{q}{Q} \leq 0,1 \quad (3)$$

Для озер и водохранилищ рекомендуется определение наименьшей кратности разбавления по методике Н.Н.Лапшева [2].

Требуемые эффекты очистки для любого вида загрязнения для канализационной очистной станции определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{тр} = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{C_{вх}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $C_{вх}$ – средняя концентрация загрязнения после в поступающих на очистку стоках; $C_{вых}$ – расчетная максимально-допустимая концентрация на выходе их после очистки.

Требуемый эффект очистки для любого вида загрязнения для отдельного сооружения определяется аналогично, с учетом концентраций на входе и на выходе из сооружения.

3 Сооружения грубой механической очистки

Содержащиеся в сточных водах крупноразмерные (более 1 см) отбросы, являющиеся отходами хозяйственно-бытовой и производственной деятельности, представляют собой остатки пищи, упаковочные материалы, бумагу, тряпье, санитарно-гигиенические, полимерные и волокнистые материалы. В процессе адсорбирования крупные материалы адсорбируют содержащиеся в сточных водах органические соединения и жиры. На слой этих соединений налипают песок, шлаки и другие крупнозернистые частицы. Таким образом формируются многокомпонентные крупноразмерные органоминеральные отбросы, плотность которых близка к плотности воды, что дает возможность пройти через решетки, песколовки и осесть в первичных отстойниках. Такие отбросы нарушают работу отстойников, утяжеляют выгрузку осадков, его перекачку по илопроводам, и отрицательно влияют на процессы дальнейшей обработки осадков.

Для предотвращения этих нарушений в технологическую схему КОС рекомендуется включать решетки или сита. Прозоры решеток (размеры отверстий сит) должны быть не более 16 мм. Рекомендуется использовать решетки с прозорами не более 10 мм. Допускается, в зависимости от принимаемой технологической схемы очистных сооружений, применение решеток (сит) с меньшими прозорами, процеживателей, измельчителей, двухступенчатых схем процеживания (грубые и тонкие решетки) и т.п. [1,4].

Для очистки сточных вод от грубодисперсных загрязнений применяют решетки или решетки-дробилки (измельчители). Технология процесса очистки воды заключается в процеживании через прозоры решеток. Необходимо принять количество решеток; их тип, определить количество и способы утилизации отбросов. На плане здания решеток необходимо разместить каналы с решетками, транспортер, устройства по обработке отбросов и затворы (шиберы). Каналы решеток следует проверить на пропуск минимального расхода сточных вод; скорость в канале при этом не должна быть менее 0,7 м/с, при пропуске аварийного расхода устанавливается рабочая высота канала.

Классификация решеток, применяемых в очистке сточных вод:

- По конструкции: подвижные и неподвижные, совмещенные с дробилками, ступенчатые, дуговые.
- По форме стержней – сечение: прямоугольные, круглые, клиновидные.
- По положению в канале: наклонные и вертикальные.
- По способу очистки решеток: механизированным или ручным удалением отбросов.

Очень часто в виду малой производительности на северных КОС устанавливают решетки с ручным удалением отбросов. Решетки могут не входить в состав станции если протяженность напорных трубопроводов КНС, качающей стоки на очистку, не превышает 500 метров и размер прозоров решетки на КНС соответствует требованиям очистки[1].

Наиболее популярные марки решеток:

- МГ (Т) -механические грабли- ширина прозоров 16 и 12 мм.
- РМН - решетки механизированные наклонные- 10 и 6 мм.
- РГР –решетки грабельные реечного типа.
- RS - решетки ступенчатые механические («МЕВА») –3 и 5 мм.
- РСФ - решетка ступенчатая механическая – 4 мм.
- РГД - решетка дуговая гидравлическая - 10мм.
- СЗС - Плоское щелевое сито – 1,4мм.
- РСК («ЭКОТОН») – совмещенные с горизонтальными песколовками.
- РСС («РИОТЭК») – совмещенные с горизонтальными песколовками.
- РМБ («ЭКОТОН») – барабанного типа.

Минеральные примеси (песок, бой стекла и т.п.), как правило, выделяют в песколовках. Песколовки необходимо предусматривать в составе станции биологической очистки городских и близких к ним по составу производственных сточных вод, производительностью более 100 м³/сут [1,4].

По расчетному расходу сточных вод определяют размеры отделения песколовки и его длину. Затем оценивается количество песка, подробно разрабатываются сооружения по транспортированию и обработке песка. Песколовки, которые наиболее часто используются в малогабаритных КОС, следующие: тангенциальная и вертикальная.

Реже: горизонтальная совмещенная с решеткой; горизонтальная с круговым движением воды.

Песок может перекачиваться при помощи гидроэлеваторов, эрлифтов или песковых насосов. В пределах песколовки песок перемещают при помощи скребков, гидромеханических устройств. Обезвоживание песка проводят шнековыми устройствами, в специальных бункерах или на открытых песковых площадках. Необходимо предусматривать подъезды к площадкам (бункерам) и отвод осветленных вод в систему канализации станции. Если обезвоженного песка немного, то его накапливают в специальных емкостях и периодически вывозят на полигоны коммунальных отходов.

Примеры расчетов представлены в учебнике [3].

4 Сооружения биологической очистки

Биологический (или биохимический) метод очистки сточных вод основан на способности определенных микроорганизмов использовать за-

грязняющие вещества сточных вод для питания в процессе своей жизнедеятельности. Основным процессом, протекающим при биологической очистке – биологическое окисление органических загрязнений сточных вод микроорганизмами, населяющими активный ил или биопленку. Биоценоз активного ила состоит из множества различных бактерий, простейших водорослей, грибов и др., связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями (метабиоза, симбиоза и антагонизма). Главенствующая роль в этом сообществе принадлежит бактериям[4].

Разнообразие видового состава микроорганизмов зависит от вида органических загрязнений. Основные факторы, влияющие на эффективность биологической очистки – это температура воды, активная среда рН, соотношение и наличие биогенных элементов, достаточность питания, уровень нагрузки органических веществ на активный ил, наличие в воде специфических загрязнений (СПАВ, металлов, нефтепродуктов, фенолов и других токсичных веществ). [4]

На северных территориях России характерно повсеместное внедрение индивидуальных очистных установок, решающих проблему очистки малых количеств бытовых сточных вод. Данные стоки отличаются повышенными концентрациями органических веществ, высокой степенью неравномерности и пониженными температурами (до 6-10°C), что весьма неблагоприятно для условий биологической очистки. Понижение температуры на 6-10 градусов по сравнению с оптимальными значениями (16-20°C) приводит к замедлению процессов биологической очистки в следствие снижения скорости обмена веществ бактерий активного ила. Это влияет на качество окисления органических веществ, степень очистки и седиментационные свойства активного ила после очистки. [2-4]

В этом случае необходимо предусматривать меры для предупреждения переохлаждения поступающих на очистку стоков: снижение неравномерности расходов, утепление сетей и сооружений, подогрев воды в системе и прочие.

Наиболее популярные технологические схемы сооружений биологической очистки следующие: с чередованием аэробных и анаэробных зон, либо с периодическим включением/выключением режимов аэрации. Это зависит от требуемой степени очистки и наличием в воде азотных и фосфорных загрязнений. Практически все биологические станции нуждаются в добавлении питательных субстратов для поддержания жизнедеятельности специфических (нитрифицирующих или денитрифицирующих) микроорганизмов.

Мембраны для микро- и ультрафильтрации могут заменять установки осветления сточной воды после биологической очистки с целью разделения иловой смеси и очищенной воды. Мембраны способны задерживать как крупные и мелкие хлопья ила, так и отдельные бактерии.

Основные преимущества мембранных установок:

- достижение идеального осветления воды независимо от состояния активного ила и его индекса;
- удаление патогенных бактерий, в том числе и яиц гельминтов, и даже вирусов;
- допускается увеличивать дозу ила до 6-12 г/л, в этом случае увеличивается нагрузка на ил, сокращается время пребывания воды в аэротенке и, соответственно, объемы сооружения в 2-4 раза;
- отсутствие вторичного отстойника позволяет сократить размеры сооружений и производственных площадей;
- мембрана не пропускает мелкие хлопья и поэтому исчезает необходимость добавления питательных субстратов для ила;
- мембрана способна задерживать специфические загрязнения (нефтепродукты, жиры, крупные органические загрязнения) и снижать ХПК.

Отечественные производители предлагают широкий спектр таких станций с достаточно отработанными технологиями. Обычно типовая схема таких станций следующая: грубая механическая очистка, аэротенк (нитрификатор-денитрификатор), мембранный биореактор, механический фильтр, сорбционный фильтр и установка обеззараживания УФО. Данная схема обеспечивает на выходе заявленное качество очищенной сточной воды. Но, как выяснилось в результате эксплуатации, существует несколько проблем: сложное и дорогое оборудование, необходимость периодической регенерации и замены мембран.

Эффективность технологических схем КОС, включающих МБР, приведена в таблице 1.

Таблица 1

Показатели качества воды до очистки и после очистки на КОС

Показатель, мг/л	Вход на КОС	Выход после МБР
Взвешенные вещества	200-300	6-10
БПК ₅	300-500	1-3
ХПК	450-650	5-15
Азот аммонийный	50-70	0,1-0,5
Нефтепродукты	3-6	0,01-0,03
АПАВ	5-10	0,1-0,5
Фосфаты	1-2	0,5-1

В Приложении Б приведен пример расчета сооружения биологической очистки.

5 Доочистка и обеззараживание сточных вод

Доочистка или глубокая очистка сточных вод применяется на последних этапах технологической схемы КОС. Самый распространенный способ доочистки, применяемый на малогабаритных станциях, это напорные механические фильтры или комбинация последовательно установлен-

ных механических и сорбционных фильтров. Механические фильтры в этом случае выполняют роль предварительных (или префильтров) для того чтобы предупредить быстрое загрязнение сорбционных фильтров.

В качестве загрузки механических фильтров применяется кварцевый песок или синтетические фильтрующие материалы. Технология очистки воды заключается в задержании остаточных загрязнений структурой фильтра. Скорость фильтрования зависит от конструктивных и технологических параметров фильтра и обычно находится в пределах от 5 до 10 м/ч. Требуемый напор перед входом в фильтр как правило не превышает 10 м.

Загрузка сорбционных фильтров – это различные сорбенты, выпускаемые промышленностью. Самым распространенным и эффективным сорбентом является активированный уголь. Принцип действия сорбционных фильтров основан на удалении загрязнений из сточных вод под действием межмолекулярных сил, которые способны удерживать на поверхности сорбента различные вещества. В результате происходит тонкая очистка от органических веществ, нефтепродуктов, СПАВ, фенолов и других. Скорость фильтрования зависит от вида загрузки и должна быть достаточно медленной (в среднем 3-5 м/час) чтобы обеспечить время контакта сорбента и удаляемых загрязнений.

Для обеспечения нормальной работы напорных фильтров доочистки требуется периодическая промывка, которая осуществляется в автоматическом режиме. Вода для промывки может быть технического качества и забирается, как правило, после этапа обеззараживания из трубопровода или накопительной емкости очищенной сточной воды.

Обеззараживание или дезинфекция сточных вод осуществляется на последнем этапе технологической схемы. Для малогабаритных КОС наиболее популярные методы: 1) ультрафиолетовое УФ-облучение; 2) обработка раствором гипохлорита натрия.

УФ технология – основной метод обеззараживания сточных вод, экологически чистая и безопасная альтернатива хлорированию. УФ обеззараживание сточных вод дает возможность полностью отказаться от дорогостоящего хлорирования и дехлорирования. УФ метод не оказывает негативного влияния на экологию водоемов и позволяет с минимальными затратами обеспечить соответствие требованиям современных государственных нормативов.

Основными промышленно применяемыми источниками УФ излучения являются ртутные лампы высокого давления и ртутные лампы низкого давления, в том числе их новое поколение – амальгамные. Лампы высокого давления обладают высокой единичной мощностью (несколько кВт), но более низким КПД (9–12%) и меньшим ресурсом, чем лампы низкого давления (КПД 40%), единичная мощность которых составляет десятки и сотни ватт. УФ системы на амальгамных лампах чуть менее компактны, но гораздо более энергоэффективны, чем системы на лампах высокого давле-

ния. Поэтому требуемое количество УФ оборудования, а также тип и количество используемых в нем УФ ламп, зависит не только от требуемой дозы УФ облучения, расхода и физико-химических показателей качества обрабатываемой среды, но и от условий размещения и эксплуатации.

Для эффективного применения УФ-облучения на КОС необходимо снизить содержание взвешенных веществ до 10 мг/л. На это способны технологии, включающие этап доочистки или МБР. Для малогабаритных очистных сооружений наиболее подходящими являются УФ-установки проточного типа, монтируемые непосредственно на трубопроводе.

Отечественный производитель НПО «ЛИТ» обладает уникально широкой линейкой серийных УФ систем продольного обтекания малой и средней производительности группы УДВ (1–500 м³/час). Оборудование разработано и выпускается для двух диапазонов прозрачности воды: серия А ($\tau \geq 85\%$) и N ($90\% \geq \tau \geq 50\%$). В них используются как традиционные (ртутные) лампы низкого давления (15–75 Вт), так и короткие амальгамные лампы (95–700 Вт). Это обеспечивает минимально возможные размеры оборудования и зоны его обслуживания, позволяет размещать эти УФ системы в помещениях с минимальными объемами.

Способ обеззараживания гипохлоритом натрия связан с использованием реагентов. Современный вариант – использование уже приготовленного концентрированного раствора гипохлорита и подача его в трубопровод при помощи автоматического дозатора. В этом случае необходим автоматический контроль за концентрацией остаточного хлора в воде.

Интересны с точки зрения совершенствования технологий опытные разработки СВЧ-обеззараживания воды [5], которые исключают использование реагентов при гарантии высокого качества обработки.

В Приложении В приведен пример расчета напорных фильтров.

6 SBR- реакторы очистки сточных вод

SBR- реактор– канализационное сооружение биологической очистки с периодическим включением/выключением определенных режимов работы становится все более популярным при проектировании малогабаритных КОС.

Основная особенность технологии периодической биологической очистки состоит в том, что все биохимические процессы (полного окисления органики, нитрификации аммоний-ионов, денитрификации нитрит- и нитрат-анионов, биологического и химического удаления фосфора), а также вспомогательные процессы загрузки, отстаивания, выгрузки (декантации) очищенной воды осуществляются в одном резервуаре. Эта технология позволяет принимать стоки с высоким коэффициентом неравномерно-

сти поступления, подходит для обработки высоких входных концентраций, и практически не зависит от качества поступающей воды.

Самый простой вариант – один биореактор и предварительный накопительный резервуар (для приема стоков, когда в реактор нельзя подавать исходную воду, т.е. во время отстаивания и слива очищенной воды). SBR-реактор представляет собой резервуар с аэрационной системой, измерительными приборами и прочим оборудованием [5].

Целесообразность применения технологии биологической очистки периодического действия вызвано рядом представленных условий: высокая эффективность очистки стоков; минимальная площадь очистных сооружений; невысокая стоимость очистных сооружений; закрытое исполнение очистных сооружений; полная автоматизация работы очистных сооружений [5].

Принцип работы SBR – реактора заключается в следующем (рисунок 1). В начале цикла к активному илу добавляют неочищенные сточные воды. В этой фазе, без аэрации и перемешивания, происходит денитрификация и растворение фосфора (анаэробный режим). Фаза перемешивания необходима для окончательной денитрификации.

Во время следующей фазы аэрации (аэробный режим) в реактор подается сжатый воздух и в это время происходит удаление углерода, активность бактерий достигает максимума. В этой фазе перекрывается доступ сточных вод и происходит чистый процесс нитрификации (продолжительность фазы примерно 50% всего цикла). Далее следует аноксидная фаза, при которой сточные воды подвергаются перемешиванию без насыщения воздухом. Следующая фаза – гравитационная седиментация или отстаивание, необходимое для разделения иловой смеси. И завершающая цикл фаза декантации. В этой фазе происходит откачивание биологически очищенной воды при помощи деканторов. Декантор забирает чистую воду из верхнего слоя отстоянной воды и выводит ее из биореактора.

Избыточный активный ил откачивается насосами и подается в илоуплотнители. После удаления из системы избыточного количества ила SBR-биореактор возвращается в начальную фазу и готов к приему следующей порции сточной воды.

Продолжительность каждой фазы определяется с учетом свойств поступающей на сооружения сточной воды, требуемых показателей для очищенной воды и других условий. Исходя из удобства эксплуатации, обычно выбирают 6-, 8- и 12-часовые циклы. При наличии двух реакторов начало циклов смещено относительно друг друга так, чтобы фазы наполнения и слива не пересекались во времени.[5]

Расчет SBR-биореактора производится с учетом выполнения двух требований: удаления заданного количества загрязнений и приема определенного объема сточных вод. Необходимый реакционный объем зависит также от возраста ила, принимаемого, исходя из целей очистки.

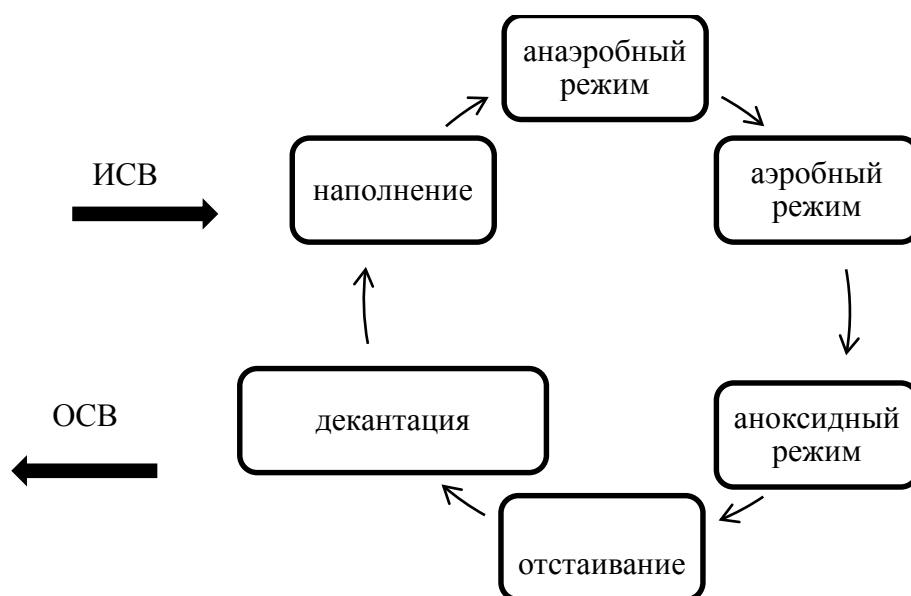


Рисунок 1 - Принципиальная схема работы SBR-реактора: ИСВ- исходная сточная вода, ОСВ – очищенная сточная вода

Для удаления органических загрязнений достаточно 4–5 суток, для реализации процесса нитри- и денитрификации – 8 – 20 суток. Объем камеры реактора можно рассчитать по формуле:

$$W = T_{\max} \cdot Q \cdot K, \quad (5)$$

где $T_{\max}$ - максимальное время, необходимое для самого продолжительного режима очистки в данной камере реактора, определяется технологическим расчетом, часы; Q – расчетный расход воды, м³/час; K – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность поступления стоков.

В воде, сливаемой из SBR-биореактора, содержится от 10 до 15 мг/л взвешенных веществ. В случае полной биологической очистки БПК₅ составляет около 10 мгО₂/л, что обусловлено как выносом твердых частиц, так и остаточной растворенной долей (ее объем зависит от специфики производства и наличия трудноокисляемых органических веществ).

Реактор оборудован контрольно-измерительными приборами, системой аэрации, плавающей мешалкой и декантером – специальным устройством для отвода верхнего слоя очищенной воды по окончании фазы отстаивания. Мешалка и декантер оснащены поплавками и всегда находятся на поверхности воды. Избыточный ил удаляется в конце каждого цикла с помощью насоса.

7 Подбор типовых малогабаритных канализационных очистных сооружений

В соответствие с рекомендациями и нормами при обработке сточных вод методами искусственной биологической или физико-химической очистки в условиях инфраструктуры нефтяных и газовых месторождений необходимо применять компактные установки заводского изготовления. В таблице 2 представлены малогабаритные очистные канализационные установки, выпускаемые отечественной и европейской промышленностью (по состоянию на 2018 год).

Таблица 2

Малогабаритные очистные станции

№ пп	Марка, наименование установки	Производительность, $\text{м}^3/\text{сут}$	Производитель, сайт	Исполнение
1	ЛОС-МБР ЛОС-Р-Н	50-50000	РФ, ООО «ЭКОЛОС» ecolos.ru	Наземное, северное
2	СБО -500	250-500 $\text{м}^3/\text{сут}$	РФ, АОО «345 Механический завод» 345mz.ru	Наземное, северное
3	Мега-Ф	от 400	РФ, ЗАО «СБМ-ГРУПП» sbm-group.ru	Любые условия
4	ЭКО-Б.БМИ	1-250	РФ, ГК «ЭКОЛАЙН» ecso.ru	Наземное, Северное
5	ЭВИ-БИО	10-1500	РФ, ООО НПО «ЭкоВодИнжиниринг» pro-ewi.ru	Наземное, Северное
6	БИОС	60-1730	РФ, ООО «АКВИ-ТЭК» aquitec.ru	Наземное
7	БИО-М БИО-УМ БИО-СУМ	10-500	РФ, ЗАО «Техносфера» tehnosfera.ru	Любые условия
8	КОС	10-15000	РФ, ООО «Резервуарный завод «ВЕССЕЛ» rz-vessel.ru	Наземное
9	«ПЛЕС УГ-БО МЕ»	10-1000	РФ, ООО «Водные инновации» www.v-in.ru	Наземное Северное
10	Топлос-К Топлос-КМ Топазро-М	48-1040	Чехия, TopolWater РФ, «ТОПОЛ-ЭКО» УРАЛ topol-eco-ural.ru	Северное Подземное, Наземное
11	LOCOS MBR	50-500	РФ, Словакия, ООО «Локос» locos-mbr.ru	Любые условия
12	WATEQ® BIO	10-1000	РФ, ООО «Сенсетек» sense-t.ru	Северное
13	ЁРШ®Б	100-1500	РФ, Компания «ЭКОС» ecos.ru	Северное

№ пп	Марка, наименова- ние уста- новки	Производи- тельность, <i>м³/сут</i>	Производитель, сайт	Исполнение
14	LBR-BM LBR-BM1	100-1200 200-1200	РФ, ООО «Производственная компания» ecosgroup.com	Любые усло- вия
15	Моноблок-Т Flexidiblok	От 100	РФ, Чехия, ООО «ЭкоДиН» ekodin.ru	Любые усло- вия
16	ВКМ, ВКМ.Р	50-10000	РФ, компания «Интегральные водные технологии» inwatertech.ru	(+55 - -60) в северном ис- полнении
17	ЭКОМО- БИЛ-БИО	10-1400	РФ, ЗАО «НПК Медиана- Фильтр», НПП «Медиана-Эко» eco-mobil.ru	Любые усло- вия
18	Биоток К, М	50-3000	РФ, НПО «Агростройсервис» acs-nnov.ru	Любые усло- вия
19	КУОСВ	10-500	РФ, ООО «Эководстройтех» ecovod.ru	Северное
20	БЛОС	10-200	РФ, Компания «ЭКОВОД» ecovod.org	до -60 в се- верном ис- полнении
21	Серия ВВ	20-1000	РФ, ООО «НПП Би-ТЭК» (Bi- tec) bi-tec.ru	есть каталог
22	АРМАТЕХ- БИО	30-250	РФ, ООО «АРМАТЕХ» armatech.ru	нет доочистки
23	БИОКС- СП	50-1000	РФ, ООО «СПЕЦГИДРОПРО- ЕКТгруп» sg-pro.ru	Любые усло- вия
24	Plana	20-800	РФ, ООО «Инженерная груп- па ПЛАНА» planagroup.ru	Наземное, се- верное
25	КОСВ.Б	10-300	РФ, ООО НПФ «ВИСМА» visma.su	Наземное, се- верное
26	AS- VARIOCOM P D	165-852 м³/сут	Чешская фирма ASIO, spol. s.r.o https://www.asio.cz/lt/	Наземное
27	BioCleaner®	75-1500 м³/сут	Чешская фирма Envi-pur http://www.envi-pur.cz/ru/	Наземное
28	KLARO MAX system	450 м³/сут	Немецкая фирма KLARO GmbH https://en.klaro.eu/	Наземное
29	BIOMAX type HIGH- RATETM Bioplant	75-300 м³/сут	Канадская фирма Deviseengi- neering https://www.devise.gr/	Наземное
30	Aspiral L3	300 м³/сут	Американская фирма Flu-	Наземное

№ пп	Марка, наименова- ние уста- новки	Производи- тельность, <i>м³/сут</i>	Производитель, сайт	Исполнение
			enceCorporation https://www.fluencecorp.com/	

8 Сооружения по обработке осадков сточных вод

В малых населенных пунктах: селах, поселках городского типа, вахтовых поселках при промышленных предприятиях образуются небольшие количества осадков сточных вод. Но данный вид отходов производится ежедневно, практически не обрабатывается должным образом, накапливается, и, в итоге, со временем появляется проблема утилизации коммунального отхода [4,5]. Особенно сложно решать данный вопрос в зимний период на станциях, расположенных на Тюменском Севере.

В настоящее время в стране нет ни одной организации, которая отвечала бы за утилизацию отходов в регионах, не ведется статистический учет по количеству образующихся осадков бытовых сточных вод. Замена устаревшего оборудования и отказ от низкоэффективных методов обработки и утилизации осадков происходит медленно.

Для очистных станций малой производительности характерная следующая технологическая схема:

1) Отбросы, задерживаемые на решетках, по мере накопления вывозятся на полигон ТБО или ликвидируются (обычно сжиганием).

2) Осадок из песколовков, накопленный в колодцах-грязеуловителях, не реже двух раз в год вывозится на полигон ТБО.

3) Избыточный ил, образующийся в процессе полной биологической очистки, после предварительного обезвоживания до влажности 80% с применением флокулянта (фильтрующие мешки) вывозится на полигон ТБО или ликвидируется (обычно сжиганием).

Достоинством данной технологической схемы является то, что обезвоженный в мешках осадок практически сразу готов к вывозу и утилизации. Недостатки следующие: отсутствие обеззараживания осадков (исключая вариант с сжиганием), большие затраты на расходные материалы и реагенты (фильтровальные мешки, флокулянты). В данном варианте не предусматривается полезная утилизация полученных коммунальных отходов.

Существуют станции, в технологической схеме которых предусмотрена обработка осадков, включающая в себя аэробные стабилизаторы, обезвоживание, накопление и ликвидация. Интересны современные методы электромагнитной обработки осадков сточных вод в СВЧ-диапазоне.

В случае применения популярного аэробного стабилизатора необходимо устройство системы подачи сжатого воздуха. Время обработки осадков воздухом составляет от 8 до 24 часов, температура от 8°C до 35°C.

Главное достоинство данной схемы – не используются дорогостоящие реагенты. Но в этом случае также не происходит обеззараживание осадков. И при этом возникают дополнительные затраты на подачу сжатого воздуха. В итоге такой осадок также ликвидируется на полигоне ТБО [4, 5].

На площадках КОС необходимо выделить место для временного хранения обезвоженного ила (по объему накопления за 6 месяцев). В случае отказа оборудования по механическому обезвоживанию, избыточный активный ил направляется в аварийную емкость. Объем аварийной емкости должен быть не менее объема необезвоженного избыточного активного ила за месяц.

Осадок, образующийся после отстаивания промывных вод фильтров доочистки, направляется на обезвоживание совместно с избыточным илом или накапливается в специальной емкости и по мере необходимости вывозится на полигон ТБО. Обезвоженные осадки относятся к IV классу опасности и подлежат утилизации или ликвидации.

В приложении Г приведен пример расчета сооружений по обработке осадков сточных вод.

9 Список используемых источников

1 СП32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения». Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85*

2 Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей (в ред. Приказов Минприроды России от 22.07.2014 № 332, от 29.07.2014 № 339, от 15.11.2016 № 598) [Электронный ресурс] // ИСС «Техэксперт». – (Дата обращения: 08.05.2017).

3 Ласков, Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений. Учебное пособие для вузов. / Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Издательство «Альянс», 2008. -255с.

4 Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод/ Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев//учебник для вузов: – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 – 704 с.

5 Вялкова, Е.И. Водоотведение объектов инфраструктуры нефтегазовых месторождений Западной Сибири: монография / Е.И. Вялкова, С.В. Максимова, М.В. Землянова, А.В. Воротникова, Л.И. Максимов. – Тюмень: ТИУ, 2017. -175 с.

Пример расчета концентраций НДС для малогабаритных КОС

Исходные данные: Даны концентрации смеси споступающих сточных вод $C_{вх}$, фоновые концентрации в реке $C_{ф}$, установленные концентрации ПДК- $C_{пдк}$ (в таблицах А.1 и А.2). Кратность разбавления для первого варианта – $n=140$, для второго – $n=1$.

Расчет.

Расчет концентраций НДС производился по формуле:

$$C_{ндс} = n \cdot (C_{пдк} - C_{ф}) + C_{ф}, \quad (A.1)$$

В таблицах Г.1.1 и Г.1.2 приведены расчеты концентраций НДС и принятые эффекты очистки для выбора технологических схем очистки для двух вариантов сброса сточных вод: 1) в водоток с расходом воды, намного превышающим расход сточных вод, и с расчетной кратностью разбавления $n=140$; 2) в водоток с расходом воды, соизмеримым с расходом сбрасываемых сточных вод, и с расчетной кратностью разбавления $n=1$ (начальное разбавление - 1).

Требуемый эффект очистки определялся по формуле:

$$\mathcal{E}_{тр} = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{C_{вх}} \cdot 100\%, \quad (A.2)$$

Таблица А.1

Пример расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в случае с расчетной кратностью разбавления $n=140$

Показатель	$C_{вх}$	$C_{ф}$	$C_{пдк}$	$C_{ндс}$	$C_{вых}$	$\mathcal{E}_{тр}, \%$
Взвешенные вещества	300	10	10,25	45	10*	96,6
БПК _{полн}	600	2,8	3	30,8	10*	98,3
Азот аммонийный	79	0,2	0,4	28,2	0,4**	99,4
Нефтепродукты	50	0,01	0,05	5,61	0,05**	99,9

* По взвешенным веществам и БПК концентрации $C_{ндс}$ намного больше, чем $C_{пдк}$ и $C_{ф}$, поэтому можно принять расчетную концентрацию $C_{вых}$ на выходе из очистной станции равной 10 мг/л, что соответствует уровню используемого технологического процесса с использованием УФО-обеззараживания на выходе.

** По азоту аммонийному и нефтепродуктам $C_{ндс}$ также намного превышает $C_{пдк}$ и $C_{ф}$, поэтому $C_{вых}$ можно принять равным $C_{пдк}$ (по экологическим соображениям) или в соответствие с эффектами принятой технологии.

Таблица А.2

Пример расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в случае с расчетной кратностью разбавления $n=1$

Показатель	$C_{вх}$	$C_{ф}$	$C_{пдк}$	$C_{ндс}$	$C_{вых}$	$\Sigma, \%$
Взвешенные вещества	300	10	10,25	10,25	10*	96,6
БПК _{полн}	600	2,8	3	3	3	99,5
Азот аммонийный	79	0,2	0,4	0,4	0,4	99,4
Нефтепродукты	50	0,01	0,05	0,05	0,05	99,9

* По взвешенным веществам и БПК концентрации $C_{ндс}$ равна $C_{пдк}$, поэтому можно принять расчетную концентрацию $C_{вых}$ на выходе из очистной станции равной 10 мг/л, что соответствует уровню используемого технологического процесса с использованием УФО-обеззараживания на выходе.

Выбранная технологическая схема должна обеспечивать концентрации остаточных загрязнений на выходе из сооружений не выше, чем расчетные концентрации на выходе ($C_{вых}$).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Пример расчета аэротенка с зонами нитрификации и денитрификации

Расчетная схема разделения зон аэротенка представлена на рисунке Б.1:

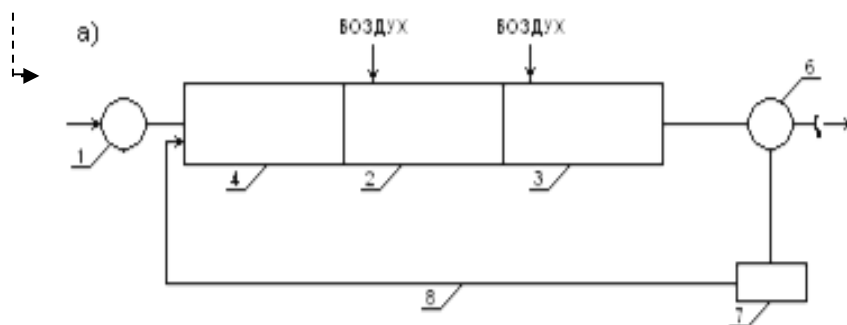


Рисунок Б.1 - Схема удаления из сточной жидкости азота методом нитрификации-денитрификации: 1-сооружения грубой механической очистки; 2-аэротенк; 3-нитрификатор; 4-денитрификатор; 6-вторичный отстойник; 7-насосная станция циркулирующего активного ила; 8-циркулирующий активный ил.

Исходные данные: Сточные воды вахтового поселка поступают на сооружения биологической очистки. Сооружения не включают первичный

отстойник, только грубую механическую очистку. Исходные параметры приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Исходные параметры		
Расходы сточных вод:	Исходные концентрации загрязнений:	Концентрации очищенных сточных вод:
суточный $Q_{\text{сут}}=200 \text{ м}^3/\text{сут};$ часовой $q_{\text{max}}=12,5 \text{ м}^3/\text{ч}$	БПК _{полн.} $L_{\text{en}}^{\text{БПК}_n}=480 \text{ мг/л}$	БПК _{полн.} $L_{\text{ex}}^{\text{БПК}_n}=25 \text{ мг/л}$
Показатель среды: $\text{pH}=7,6$	Ион-аммоний $C_{\text{en}}^{\text{N-NH}_4}=45 \text{ мг/л}$	Ион-аммоний $C_{\text{ex}}^{\text{N-NH}_4}=5,0 \text{ мг/л}$
Температура сточных вод на входе: $T_{\text{ст.в}}^{\text{min}}=12^\circ\text{C}$ $T_{\text{ст.в}}^{\text{max}}=18^\circ\text{C}$	Взвешенные вещества $C_{\text{en}}^{\text{ВВ}}=350 \text{ мг/л}$	Нитрат-ион $C_{\text{ex}}^{\text{N-NO}_3}=12 \text{ мг/л}$

Расчет.

1. Требуемая степень рециркуляции активного ила R_i в системе «вторичный отстойник – аэротенк - вторичный отстойник», обеспечивающая снижение N-NO_3 в очищенной сточной жидкости до требуемых значений ($C_{\text{ex}}^{\text{N-NO}_3}=12 \text{ мг/л}$), определяется из уравнения:

$$R_i = \frac{C_{\text{en}}^{\text{N-NH}_4} - \Delta N - C_{\text{ex}}^{\text{N-NH}_4}}{C_{\text{ex}}^{\text{N-NO}_3}} - 1 \quad (\text{Б.1})$$

где $C_{\text{ex}}^{\text{N-NO}_3}$ – концентрация азота нитратов в биологически очищенной воде (на выходе из аэротенка), мг/л;

ΔN – количество азота, пошедшее на синтез клеток микроорганизмов в аэротенке, мг/л;

$C_{\text{en}}^{\text{N-NH}_4}$ – концентрация азота аммонийного на входе в аэротенк, мг/л;

$$R_i = \frac{45-1}{12} - 1; \quad R_i=2,67$$

Количество азота, пошедшее на синтез клеток микроорганизмов в аэротенке, мг/л:

$$\Delta N = \Pi_i \cdot M \cdot m \cdot (1 - S) \quad (\text{Б.2})$$

где M – доля микроорганизмов в активном иле (в курсовом проекте принять равной 0,3);

m – доля азота в клетках микроорганизмов в пересчете на сухое вещество (в курсовом проекте принять равной 0,1);

S – зольность активного ила, для бытовых стоков можно принять 0,3.

$$\Delta N = 424 \cdot 0,3 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,3) = 8,9 \text{ мг/л}$$

Прирост активного ила, мг/л:

$$P_i = 0,8 \cdot C_{\text{ен}}^{\text{ВВ}} + 0,3 \cdot L_{\text{ен}}^{\text{БПК}_n} \quad (\text{Б.3})$$

где $C_{\text{ен}}^{\text{ВВ}}$ – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л;

$L_{\text{ен}}^{\text{БПК}_{\text{полн}}}$ – концентрация БПК_{полн} в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л.

$$P_i = 0,8 \cdot 350 + 0,3 \cdot 480 = 424 \text{ мг/л}$$

2. Количество азота нитратов, поступивших в зону денитрификации аэротенка из вторичного отстойника с рециркуляционным потоком активного ила, т/сут:

$$M_{\text{ден}}^{\text{N-NO}_3} = \frac{C_{\text{ex}}^{\text{N-NO}_3} \cdot Q_{\text{сут}} \cdot R_i}{10^6} \quad (\text{Б.4})$$

$$M_{\text{ден}}^{\text{N-NO}_3} = \frac{12 \cdot 200 \cdot 2,67}{10^6} = 0,0064 \text{ т/сут}$$

3. Концентрация азота нитратов в зоне денитрификации с учетом рециркуляционного потока активного ила, мг/л:

$$C_{\text{ден}}^{\text{N-NO}_3} = \frac{C_{\text{ен}}^{\text{N-NO}_3} \cdot Q_{\text{сут}} + C_{\text{ц}}^{\text{N-NO}_3} \cdot Q_{\text{ц}}}{Q_{\text{сут}} + Q_{\text{ц}}} \quad (\text{Б.5})$$

где $C_{\text{ен}}^{\text{N-NO}_3}$ – концентрация азота нитратов в исходной сточной жидкости, поступающей в зону денитрификации аэротенка (в курсовом проекте принять равной нулю);

$C_{\text{ц}}^{\text{N-NO}_3}$ – концентрация азота нитратов в циркулирующем потоке активного ила (равна концентрации азота нитратов в биологически-очищенной воде) мг/л;

$Q_{\text{сут}}$, $Q_{\text{ц}}$ – расход сточной жидкости и циркулирующего потока активного ила, м³/сут.

$$Q_{\text{ц}} = Q_{\text{сут}} \cdot R_i \quad (\text{Б.6})$$

$$C_{\text{ден}}^{N-\text{NO}_3} = \frac{0 \cdot 200 + 12 \cdot 200 \cdot 2,67}{200 + 200 \cdot 2,67} = 8,73 \text{ мг/л}$$

4. Количество органических веществ по БПК_п, пошедшее в зоне денитрификации на восстановление азота нитратов, т/сут:

$$\Delta M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = K_{\text{ден}} \cdot M_{\text{ден}}^{N-\text{NO}_3} \quad (\text{Б.7})$$

где $K_{\text{ден}}$ – коэффициент, учитывающий количество БПК_п для обеспечения полного восстановления нитратов до элементарного азота (БПК_п: $C_{N-\text{NO}_3} = 4:1$)

$$\Delta M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = 4 \cdot 0,0064 = 0,0256 \text{ т/сут}$$

5. Количество органических веществ по БПК_п, поступающих со сточной жидкостью в зону денитрификации, т/сут:

$$M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = \frac{L_{\text{ен}}^{\text{БПК}_n} \cdot Q_{\text{сут}}}{10^6} \quad (\text{Б.8})$$

$$M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = \frac{480 \cdot 200}{10^6} = 0,096 \text{ т/сут}$$

6. Количество органических веществ по БПК_п, поступающих со сточной жидкостью в зону аэрации и нитрификации, т/сут:

$$M_{\text{аэр}}^{\text{БПК}_n} = M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} - \Delta M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} \quad (\text{Б.9})$$

$$M_{\text{аэр}}^{\text{БПК}_n} = 0,096 - 0,0256 = 0,0704 \text{ т/сут}$$

7. Концентрация БПК_{пол} в сточной жидкости, поступающей в зону аэрации, мг/л:

$$L_{\text{аэр}}^{\text{БПК}_{\text{пол}}} = \frac{M_{\text{аэр}}^{\text{БПК}_n} \cdot 10^6}{Q_{\text{сут}}} \quad (\text{Б.10})$$

$$L_{\text{аэр}}^{\text{БПК}_{\text{пол}}} = \frac{0,0704 \cdot 10^6}{200} = 352 \text{ мг/л}$$

8. Продолжительность обработки сточной жидкости в зоне денитрификации, ч:

$$t_{\text{ден}} = \frac{C_{\text{ден(ен)}}^{N-\text{NO}_3} - C_{\text{ден(ех)}}^{N-\text{NO}_3}}{a_i \cdot (1-s) \cdot \rho_{\text{ден}}} \cdot \frac{20}{T_{\text{ст.в}}^{\text{min}}}, \quad (\text{Б.11})$$

где $C_{\text{ден(ен)}}^{N-\text{NO}_3}$ и $C_{\text{ден(ех)}}^{N-\text{NO}_3}$ – концентрация азота нитратов на входе и выходе из зоны денитрификации соответственно, мг/л;

$\rho_{\text{ден}}$ – скорость восстановления азота нитратов принимается в зависимости от начального значения азота нитратов, принимается по таблице Б.2;

$T_{\text{ст.в}}^{\text{min}}$ – температура сточной жидкости для самого неблагоприятного холодного времени года, °С.

Таблица Б.2

$(C_{\text{ден(ен)}}^{N-\text{NO}_3})_{\text{ден}}$, мг/л	10	20	30	40	50	60	70	80
$\rho_{\text{ден}}$, мг/(г·ч)	7,5	11,5	13,5	15	17	17,5	18,5	19

$$t_{\text{ден}} = \frac{8,73-0}{3 \cdot (1-0,3) \cdot 7,5} \cdot \frac{20}{12} = 0,92 \text{ ч}$$

14. Объем зоны денитрификации аэротенка, м³:

$$W_{\text{ден}} = q_m \cdot t_{\text{ден}} \cdot (1 + R_i) \quad (\text{Б.12})$$

где q_p – расчетный расход сточной жидкости, поступающей на сооружения биологической очистки, м³/ч.

$$W_{\text{ден}} = 12,5 \cdot 0,92 \cdot (1 + 2,67) = 42,205 \text{ м}^3$$

15. Продолжительность обработки сточной жидкости с целью снижения концентрации органических веществ в зоне аэрации определяется по формуле, ч:

$$t_{\text{атв}} = \frac{1 + \varphi \cdot a_i}{\rho_{\text{max}} \cdot C_0 \cdot a_i \cdot (1 - S)} \cdot \left[(C_0 + K_0)(L_{\text{mix}} - L_{\text{ex}}) + K_l \cdot C_0 \cdot \ln \frac{L_{\text{ен}}}{L_{\text{ех}}} \right] \cdot K_p \cdot \frac{15}{T_{\text{ст.в}}^{\text{min}}} \quad (\text{Б.13})$$

где ϕ – коэффициент ингибирования процесса биохимического окисления органических веществ продуктами распада активного ила (можно принять 0,07);

a_i – доза активного ила 1,5-5 мг/л;

$\rho_{\max}$ – максимальная скорость окисления органических веществ в аэротенке, (принимается 85);

C_0 – концентрация растворенного кислорода в аэротенке, в курсовом проекте принять равной 2 мг/л;

K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, (можно принять 0,625);

L_{mix} – БПК_{пол} сточной жидкости с учетом разбавления рециркуляционным расходом возвращаемого из вторичного отстойника активного ила, мг/л:

$$L_{\text{mix}} = \frac{L_{\text{en}}^{\text{БПК}_\text{п}} + L_{\text{ex}}^{\text{БПК}_\text{п}} \cdot R_i}{1 + R_i} \quad (\text{Б.14})$$

$$L_{\text{mix}} = \frac{480 + 25 \cdot 2,67}{1 + 2,67} = 149 \text{ мг/л}$$

K_1 – константа, характеризующая свойства органических загрязнений по БПК_{пол} (можно принять 33);

K_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания.

$$t_{\text{atv}} = \frac{1 + 0,07 \cdot 3}{85 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (1 - 0,3)} \cdot \left[(2 + 0,625)(149 - 25) + 33 \cdot 2 \cdot \ln \frac{480}{25} \right] \cdot 1,5 \cdot \frac{15}{12} = 2,79$$

16. Требуемый объем аэротенка для снижения концентрации органических веществ, м³:

$$W_{\text{atv}} = q_p \cdot t_{\text{atv}} \quad (\text{Б.15})$$

$$W_{\text{atv}} = 12,5 \cdot 2,79 = 38,87 \text{ м}^3$$

17. Требуемая продолжительность нахождения сточной жидкости в зоне нитрификации:

$$t_{\text{нит}} = \frac{C_{\text{mix}}^{N-NH_4} - \Delta N - C_{\text{ex}}^{N-NH_4}}{a_i \cdot (1 - S) \cdot \rho_{\text{нит}} \cdot K_{pH}} \cdot \frac{20}{T_{\text{ст.в.}}^{\text{min}}} \quad (\text{Б.16})$$

где $C_{\text{mix}}^{N-NH_4}$ – концентрация азота аммонийного в сточной жидкости с учетом разбавления рециркуляционным расходом возвращаемого из вторичного отстойника активного ила, мг/л:

$$C_{\text{mix}}^{N-NH_4} = \frac{C_{\text{en}}^{N-NH_4} + C_{\text{ex}}^{N-NH_4} \cdot R_i}{1 + R_i} \quad (\text{Б.17})$$

$$C_{mix}^{N-NH_4} = \frac{45 + 5 \cdot 2,67}{1 + 2,67} = 15,9 \text{ мг/л}$$

$\rho_{\text{нит}}$ – скорость окисления азота аммонийного, принимается по таблице Б.3 для значения 15,9 равным 3,59.

Таблица Б.3

C_{N-NH_4} , мг/л	90	70	50	30	20	5
$\rho_{\text{нит}}$, мг/(г·ч)	22,5	19,5	15,6	11	4	2,5

K_{pH} – коэффициент, учитывающий влияние pH, принимается по таблице Б.4 для значения 8 равным 0,95.

Таблица Б.4

pH	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
K_{pH}	0,14	0,28	0,18	0,73	0,95	1,0	0,87	0,68

$$t_{\text{нит}} = \frac{15,9 - 8,9 - 5}{3 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3,59 \cdot 0,95} \cdot \frac{20}{12} = 0,465 \text{ ч}$$

18. Требуемый объем зоны нитрификации, м³:

$$W_{\text{нит}} = q_p \cdot (1 + R_i) \cdot t_{\text{нит}} = 12,5 \cdot (1 + 2,67) \cdot 0,465 = 21,33 \text{ м}^3$$

19. Требуемый объем аэротенка определяется суммированием требуемых продолжительностей этапов последовательной обработки сточных вод:

$$\sum W = 42,205 + 38,87 + 21,33 = 102,4 \text{ м}^3$$

С коэффициентом запаса 1,1 общий рабочий объем составит 112,64 м³. Принимаем 2 секции рабочим объемом по 60 м³. Глубина воды 2,5 м, размер одной секции в плане 4х6 м². Ширина коридора в секции 2 м. Высота бортика 0,5 м. Общая высота секции аэротенка- 3 м.

Пример расчета напорных фильтров

Напорные фильтры выпускаются промышленностью в укомплектованном всеми обслуживающими устройствами виде, поэтому их расчёт обычно сводится к определённому общей расчётной площади фильтрования, выбору типоразмера и вычислению количества рабочих фильтров.

Необходимая площадь фильтрования F_ϕ для осветления заданного расхода воды Q , м³/ч, определяется по формуле:

$$F_\phi = \frac{24 \cdot Q}{V \cdot (24 - nt)}, \quad (B.1)$$

где V_H - скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтра, рекомендуемая для механического фильтра в пределах 5-10 м/ч (для сорбционного фильтра можно снизить до 3-5 м/ч); n – количество промывок фильтра в течение суток (не более трёх); t – время простоя фильтра при промывке, обычно принимается 0,5 часа.

Межпромывочный период работы фильтра, ч, при известной объёмной грязеемкости фильтрующей загрузки определяется по формуле:

$$T_o = \frac{h \cdot \Gamma_p 10^3}{V_H \cdot C_o}, \quad (B.2)$$

где h – высота слоя фильтрующего материала; C_o - концентрация взвешенных веществ в фильтруемой воде, мг/дм³; Γ_p – грязеемкость фильтрующего материала, обычно 2-3 кг/м³.

Количество промывок фильтра за сутки определяется по формуле:

$$n = \frac{24}{T_o + t}, \quad (B.3)$$

Выбирается тип и размеры стандартных фильтров исходя из технико-экономических соображений и условий размещения. По паспортным данным уточняется площадь одного фильтра.

Количество устанавливаемых рабочих фильтров N следующее:

$$N = \frac{F_\phi}{f_\phi} + r, \quad (B.4)$$

где f_{Φ} - площадь одного фильтра по паспорту завода-изготовителя, м^2 ; r – число резервных фильтров, устанавливаемых для замены выводимых в ремонт. Обычно предусматривается один резервный фильтр.

Если фильтры не оборудованы распределительными системами, то их расчёт и проектирование производится аналогично расчётам распределительных систем безнапорных фильтров.

Количество воды q , м^3 , идущей на одну промывку одного фильтра, находится по формуле:

$$q = \frac{f_{\Phi} \cdot i \cdot r_{np} \cdot 60}{1000}, \quad (\text{В.5})$$

где i – интенсивность промывки, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; τ_{np} - время промывки, мин. Оба параметра зависят от вида фильтрующей загрузки и находятся по таблице В.1.

Исходные данные:

Фильтры установлены после вторичных отстойников. Расчётный расход воды Q составляет $10,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация взвешенных веществ в ней $C_0 = 15 \text{ мг/л}$. Выбраны к применению однокамерные осветительные фильтры с диаметром зёрен антрацита $0,8\text{-}2,0 \text{ мм}$. Справочная грязеемкость Gr таких фильтров составляет 2 кг/м^3 , интенсивность промывки $= 12 \text{ л/см}^2$; время промывки $\tau_{np}=15 \text{ мин}$.

Расчет.

Принимаем расчётную скорость фильтрования $V=7 \text{ м/ч}$. Из формулы (В.2) определяем межпромывочный период работы фильтра

$$T = \frac{0,9 \cdot 2 \cdot 10^3}{7 \cdot 15} = 17,14.$$

Количество промывок одного фильтра в сутки:

$$n = \frac{24}{17,14 + 0,5} = 1,36 \approx 2$$

Принимаем количество промывок фильтра $n = 2$ раза/сут.

Требуемая суммарная площадь фильтров:

$$F = \frac{24 \cdot 10,5}{7 \cdot (24 - 1 \cdot 0,5)} = 1,54 \text{ м}^3$$

К установке принимаем фильтры механические марки ФОВ диаметром $1,4 \text{ м}$, площадью каждого $f_{равной} 1,54 \text{ м}^2$, высотой корпуса $2,85 \text{ м}$ (см. параметры фильтров механических ФОВ - таблица В.1 и фильтров сорбционных марки ФС - таблица В.2). Общее число устанавливаемых фильтров: 1 рабочий и один резервный.

Действительная скорость фильтрования:

$$V_{\text{раб}} = \frac{Q}{F_{\text{раб}}} = \frac{10,5}{1,54} = 6,82 \text{ м/ч.}$$

Таблица В.1

Параметры фильтров ФОВ

№ пп	q	d_m	f_h	Н корпуса
1	3-6	0,7		2,42
2	10-15	1	0,785	2,61
3	16-20	1,4	1,54	2,85
4	30-36	2,0	3,14	3,32
5	50-60	2,6	5,3	3,73
6	70-80	3,0	7,1	4,08
7	90-100	3,4	9,1	4,37
Ед. изм.	м ³ /ч	м	м ²	м

Таблица В.2

Параметры фильтров ФС

Марка	Производительность до, м ³ /ч	Габариты LxDxH, мм
ФС.Н1	1	1200x1040x2140
ФС.Н2	2	1500x1220x2190
ФС.Н2Ц*	2	1300x1130x2400
ФС.Н5В*	8	2150x1350x2100
ФС.Н5Н*	8	1700x1350x2100
ФС.Н5Ц*	8	1600x1420x2400
ФС.Н10В*	12	2550x1700x2300
ФС.Н10Н*	12	2100x1700x2300
ФС.Н10Ц*	10	2305x2070x2450
ФС.Н20	20	3700x2300x2300
ФС.Н20Ц*	20	2700x2395x2400
ФС.Н40	40	6700x2300x2300

* В - направление фильтрации сверху вниз. Н - направление фильтрации снизу вверх. Ц (цилиндрический) - направление фильтрации сверху вниз или снизу вверх

Пример расчета фильтр-пресса для обработки осадков

Исходные данные:

Начальная влажность осадка 95%

Масса по сухому веществу осадка $M=0,05$ т/сут

Вид осадка: смесь сырого осадка и активного ила.

Необходимо рассчитать пресс-фильтр для обработки осадков.

Расчет.

1.Обезвоживание производится с добавлением флокулянта 12% к массе осадка по сухому веществу M , при этом суммарная масса осадка и флокулянта составит $M_{общ} = M \cdot 1,12 = 0,05 \cdot 1,12 = 0,056$ т/сут. С учетом коэффициента неравномерности поступления осадков $K=2$, расчетная масса составит: $M_{общ} = 2 \cdot (0,056 \text{ т/сут} \cdot 1000) / 24 = 4,67 \text{ кг/час}$.

2.Удельная производительность фильтр-пресса по таблице 62 [СНиП 03.04.85*] для данного типа обрабатываемого осадка составляет $q_{уд} = 5 \div 12 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{час}$., Влажность кека 62-75%.

3. Общая фильтрующая поверхность фильтр-пресса определяется по формуле:

$$F_{общ} = M_{общ} / q_{уд} = 4,67 / 5 = 0,93 \text{ м}^2 \quad (\text{Г.1})$$

4. Количество рабочих фильтр-прессов составит: $n = F_{общ} / f$, где f – площадь фильтрующей поверхности, взятой по паспорту для данной марки фильтр-пресса. В данном примере взят фильтр-пресс марки ФПАКМ, его данные приведены в Таблице Г.1:

Таблица Г.1

Марка	Площадь фильтрующей поверхности f , м ²
ФПАКМ-2,5у	2,5
ФПАКМ-5у	5
ФПАКМ-10у	10
ФПАКМ-25у	25
ФПАКМ-50у	50
ФПАВ-100	100
ФПАВ-300	300

Количество рабочих фильтр-прессов марки ФПАКМ-2,5у составит:
 $n = F_{общ}/f = 0,93/2,5 = 0,37 \approx 1$ рабочий фильтр-пресс и 1 резервный.

Количество резервных единиц оборудования принимается 1 при количестве рабочих фильтров до 3, и 2 – при количестве рабочих фильтров свыше 3.

5. Количество образующегося кека при влажности на выходе $W=62\%$ составит:

$$V = \frac{100 \cdot M_{сух}}{(100 - W) \cdot \rho}, \quad (\Gamma.2)$$

где $M_{сух} = M_{общ} = 0,056$ т/сут, ρ - плотность обезвоженных осадков, принимается равной 1,05-1,1 т/м³. Тогда объем обезвоженных осадков составит:

$$V = \frac{100 \cdot 0,056}{(100 - 62) \cdot 1,05} = 0,14 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Методические указания
к выполнению курсового проекта
для обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство»,
программа подготовки «Водоснабжение и водоотведение»

Составитель
ВЯЛКОВА Елена Игоревна

В авторской редакции

Подписано в печать 10.11.2018 Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л. 2,0.
Тираж 100 экз. Заказ №. 18-1318

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.