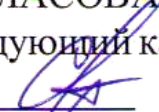
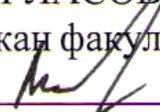


Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Факультет инженерных систем и экологии  
Кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов

СОГЛАСОВАНО  
Заведующий кафедрой  
  
С. В. Андреюк  
«16» сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО  
Декан факультета  
  
А. А. Волчек  
«16» 12 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД»**

для специальности:

1 – 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных  
ресурсов»

Составители: Акулич Татьяна Ивановна, старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ,  
Андреюк Светлана Васильевна, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ, канд. техн. наук, доцент

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БрГТУ  
29.12.2022 г., протокол № 3.

рег. N УМК 22/23-51

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### *Актуальность изучения дисциплины*

«Технология очистки сточных вод» - инженерная дисциплина, которая является для студентов специальности 1-700403 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» одной из основных специальных дисциплин, т. к. по окончании университета все выпускники направляются в организации, занимающиеся проектированием, строительством и эксплуатацией систем водоснабжения и водоотведения, включая и городские сооружения очистки сточных вод. Подготовка высококвалифицированных специалистов возможна лишь при достаточно детальном изучении и глубоком усвоении студентами данной дисциплины.

### *Цель преподавания дисциплины*

Целью преподавания дисциплины «Технология очистки сточных вод» является подготовка будущих специалистов по специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», умеющих самостоятельно:

- осуществлять выбор методов очистки сточных вод и обработки образующихся осадков с учетом водоохранных, санитарных и технико-экономических требований, а также с учетом современных достижений науки, техники и производства;

- проектировать весь комплекс городских очистных сооружений на базе современных достижений отечественной и зарубежной науки и техники в этой области;

- рационально эксплуатировать системы водоотведения в целом и отдельные сооружения; привить навыки анализа работы сооружений и научить правильно оценивать достоинства и недостатки конструкций сооружений;

- выполнять научные исследования в области технологии очистки сточных вод, обработки и обезвоживания осадков, а также исследования по изучению и совершенствованию работы сооружений очистных станций.

### *Задачи изучения дисциплины*

- усвоение студентами вопросов состава и свойств сточных вод;

- изучение основных закономерностей процессов очистки сточных вод и обработки осадков;

- приобретение знаний по назначению, устройству и принципу работы сооружений по очистки сточных вод и обработки осадков;

- приобретение навыков выбора, обоснования и проектирования сооружений и установок, реализующих технологические процессы очистки;

- овладение методами расчета городских канализационных очистных сооружений.

### ***Цели ЭУМК***

- повышение эффективности образовательного процесса для специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» по дисциплине «Технология очистки сточных вод»;
- внедрение перспективных технологий хранения и передачи информации в электронном виде.
- обеспечение открытости и доступности образовательных ресурсов путем размещения ЭУМК в локальной сети университета.

### ***Рекомендации по организации работы с ЭУМК***

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК материалов, персонального компьютера и мультимедийного проектора; при подготовке к экзамену, практическим и лабораторным занятиям студенты могут использовать материалы соответствующего раздела ЭУМК; необходим IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации;
- практические занятия могут проводиться в компьютерном классе с использованием представленных в ЭУМК методических указаний;
- лабораторные занятия проводятся в лаборатории с использованием методических указаний;
- курсовое проектирование проводится с использованием методических указаний;
- аттестация проводится в виде зачета и экзамена, вопросы к которым приведены в разделе контроля знаний.

### ***Структура электронного учебно-методического комплекса***

#### **1. Теоретический раздел**

1.1. Конспект лекций по дисциплине «Технология очистки сточных вод».

#### **2. Практический раздел**

2.1. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Технология очистки сточных вод» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

2.2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология очистки сточных вод» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

#### **3. Раздел контроля знаний**

3.1. Вопросы к зачету.

3.2. Вопросы к экзамену.

#### **4. Вспомогательный раздел**

4.1 Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Технология очистки сточных вод».

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

[\(Структура\)](#)

**Конспект лекций по дисциплине «Технология очистки сточных вод».**

[Тема 1. Введение.](#)

[Тема 2. Состав и свойства сточных вод.](#)

[Тема 3. Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами.](#)

[Тема 4. Методы очистки сточных вод и обработка осадка. Схемы очистных станций.](#)

[Тема 5. Механическая очистка сточных вод.](#)

[Тема 6. Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях \(аэротенки\).](#)

[Тема 7. Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях \(биофильтры\).](#)

[Тема 8. Вторичные отстойники.](#)

[Тема 9. Методы очистки сточных вод от биогенных элементов.](#)

[Тема 10. Биологическая очистка сточных вод в естественных условиях.](#)

[Тема 11. Методы и сооружения для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод.](#)

[Тема 12. Обеззараживание и выпуск сточных вод.](#)

[Тема 13. Обработка, обезвреживание и использование осадка.](#)

[Тема 14. Общие схемы станций для очистки сточных вод.](#)

[Тема 15. Очистка сточных вод малонаселённых мест и отдельно расположенных объектов.](#)

## Тема 1. Введение

(Теоретический раздел)

### 1.1. Предмет и его задачи.

### 1.2. Исторический обзор развития технологии очистки сточных вод.

#### *1.1. Предмет и его задачи.*

«Технология очистки сточных вод» является одной из основных дисциплин цикла специальных дисциплин учебного плана подготовки инженеров-строителей по специальности «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». В процессе изучения этой дисциплины будущие инженеры готовятся решать задачи отведения образующихся сточных вод за пределы городов и промышленных предприятий, очистки, обезвреживания, повторного использования и выпуска их в водные объекты, а также обработки и утилизации образующихся при этом осадков.

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 возбудители различных инфекционных заболеваний. Водоотводящие системы – это современные комплексы самотечных и напорных трубопроводов и других специальных сооружений, реализующих отведение, очистку, обезвреживание и использование воды и образующихся осадков. Водоотводящие системы обеспечивают также отведение и очистку дождевых и талых вод.

#### *1.2. Исторический обзор развития технологии очистки сточных вод.*

О применении воды для удаления нечистот свидетельствуют археологические раскопки древних поселений Вавилонии, Ассирии, Финикии, Египта, Греции и Рима. Для отведения сточных вод в естественные водотоки или для орошения сельскохозяйственных земель иногда строились крупномасштабные гидротехнические сооружения, выложенные кирпичом с обмазочной гидроизоляцией, обеспечивающие пропуск больших водных потоков.

Литературные источники свидетельствуют о существовании каналов для отведения дождевых и бытовых сточных вод в Индии и Китае около 5-6 тыс. лет назад. За несколько тысячелетий до нашей эры, в ассирийском Саргонском дворце был построен канал высотой 1,4 м и шириной 1,2 м. Древние греки в Афинах для отведения сточных вод построили канал шириной до 4,2 м. Поражает высокое качество строительных работ. В Древнем Риме в VI в. до н. э. был построен большой, закрытый водоотводящий канал «Клоака Максима». Отдельные части этого канала использовались вплоть до начала 20-го века н. э.

Нашествие варваров разрушило завоевания древней цивилизации. Распространилось средневековое презрение к заботам о чистоте тела, что подорвало в общественном сознании значение санитарно-технических сооружений. Анти-

санитарное состояние средневековых городов способствовало распространению эпидемии чумы, проказы, оспы, тифа во всех странах Западной Европы.

Промышленное развитие и рост городов в Европе в XIX в. привели к интенсивному строительству водоотводящих каналов. Сильным толчком к развитию водоотведения городов стала эпидемия холеры в Англии в 1881 г. В последующие годы в этой стране усилиями парламента были реализованы мероприятия по замене открытых каналов подземными и утверждены нормативы качества сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, организована биологическая очистка бытовых сточных вод на полях орошения.

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

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

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

Комплексное развитие систем водоотведения с очистными сооружениями началось после установленных норм очистки сточных вод при выпуске их в реку, разработанных в Англии в 1876 г. Достижения науки и техники способствовали повышению степени благоустройства городов до уровня современной цивилизации.

Особое значение имеет развитие современной системы водоотведения бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающих высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнений. Предпосылками для успешного решения этих задач при строительстве водоотводящих систем являются разработки, выполняемые высококвалифицированными специалистами, использующими новейшие достижения науки и техники в области строительства и реконструкции водоотводящих сетей и очистных сооружений.

## Тема 2. Состав и свойства сточных вод

(Теоретический раздел)

- [2.1. Формирование состава сточных вод.](#)
- [2.2. Нерастворенные, оседающие и неоседающие вещества в сточных водах. Гидравлическая крупность. Кривые седиментации. Характеристика оседаемых веществ.](#)
- [2.3. Коллоидные и растворенные вещества в сточных водах.](#)
- [2.4. Процессы нитрификации и денитрификации, их значение при очистке сточных вод.](#)
- [2.5. Растворение и потребление кислорода.](#)
- [2.6. Биохимическая потребность в кислороде \(БПК\), химическая потребность в кислороде \(ХПК\) и окисляемость сточных вод.](#)
- [2.7. Аэробные и анаэробные процессы.](#)
- [2.8. Бактериальное и биологическое загрязнение сточных вод.](#)
- [2.9. Активная реакция, относительная стабильность сточных вод.](#)
- [2.10. Определение концентрации загрязнений городских сточных вод.](#)

### *2.1. Формирование состава сточных вод.*

Сточные воды - это различные по происхождению, составу и физико-химическим свойствам воды, которые использовались человеком для бытовых и технологических нужд, в результате чего вода загрязнилась, и изменились ее физико-химические свойства. Сточные воды разнообразны по составу и, следовательно, по свойствам.

Классификация примесей сточных вод по природе:

#### 1) *Органические:*

##### а) Разлагаемые:

- растительного происхождения (остатки растений, плодов и овощей, злаков; бумага);
- животного происхождения (остатки мускульных и жировых тканей животных и др.)

##### б) Небиоразлагаемые или с малой степенью биоразлагаемости

- бытовые моющие средства и изделия для автомобилей, химические вещества от предприятий промышленности и торговли;
- природные вещества, например, воск, хитин и т. д.;
- искусственные органические химические вещества, например, нейлон, ДДТ.

2) *Минеральные загрязнения* - это кварцевый песок, глина, щелочи, минеральные кислоты и их соли, минеральные масла и т. д.

3) *Биологические и бактериальные загрязнения* - это различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные - возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др.

Все примеси сточных вод, независимо от их происхождения, разделяют на четыре группы в соответствии с размером частиц.

1) *Нерастворимые в воде грубодисперсные примеси* в виде:

- крупных взвешенных частиц (размер частиц  $> 10^{-2}$  см);
- суспензии и эмульсии (размер частиц  $10^{-2} - 10^{-6}$  см).

Нерастворимыми могут быть примеси органической или неорганической природы. К этой группе относят микроорганизмы (простейшие, водоросли, грибы), бактерии и яйца гельминтов. Эти примеси образуют с водой неустойчивые системы. При определенных условиях они могут выпадать в осадок или всплывать на поверхность воды. Значительная часть загрязнений этой группы может быть выделена из воды в результате гравитационного осаждения.

2) *Вещества коллоидной степени дисперсности* с размером частиц  $10^{-6} - 10^{-7}$  см. Гидрофильные коллоидные примеси этой группы образуют с водой системы с особыми молекулярно-кинетическими свойствами. К этой группе относятся и высокомолекулярные соединения, так как их свойства сходны с коллоидными системами. В зависимости от физических условий, примеси этой группы способны изменять свое агрегатное состояние. Малый размер частиц их затрудняет осаждение под действием сил тяжести. При разрушении агрегативной устойчивости примеси выпадают в осадок.

3) *Растворимые примеси молекулярной степени дисперсности* с размером частиц  $10^{-7} - 10^{-8}$  см. При их взаимодействии с водой образуются растворы. Для очистки сточных вод от примесей третьей группы применяют биологические и физико-химические методы.

4) *Растворимые примеси ионной степени дисперсности* с размером частиц менее  $10^{-8}$  см. Это растворы кислот, солей и оснований. Некоторые из них, в частности, аммонийные соли и фосфаты частично удаляются из воды в процессе биологической очистки. Однако, технология очистки бытовых сточных вод (полная биологическая очистка), не позволяет изменить солесодержание воды. Для снижения концентрации солей используют следующие физико-химические методы очистки: ионный обмен, электродиализ и т.д.

Различают три основные категории сточных вод в зависимости от их происхождения:

- хозяйственно-бытовые;
- производственные;
- атмосферные.

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



носят фосфаты, гидрокарбонаты, аммонийные соли (продукт гидролиза мочевины). Из общей массы загрязнений бытовых сточных вод на долю органических веществ приходится 45-58%.

*Производственные сточные воды* образуются в результате технологических процессов. Качество сточных вод и концентрация загрязняющих веществ определяются следующими факторами: видом промышленного производства и исходного сырья, режимами технологических процессов. На предприятиях, например, металлообрабатывающих производственных сточные воды загрязнены минеральными веществами. Пищевая промышленность дает загрязнения органическими примесями. Большинство же предприятий имеет загрязнения сточных вод как минеральные, так и органические, в различных соотношениях. Концентрация загрязнений сточных вод различных предприятий неодинакова. Она колеблется в весьма широких пределах, в зависимости от расхода воды на единицу продукции, совершенства технологического процесса и производственного оборудования. Концентрация загрязнений в производственных сточных водах может сильно колебаться во времени и зависит от хода технологического процесса в отдельных цехах или на предприятии в целом. Неравномерность притока сточных вод и их концентрации во всех случаях ухудшает работу очистных сооружений и усложняет эксплуатацию.

*Атмосферные сточные воды* образуются в результате выпадения осадков. К этой категории сточных вод относят талые воды, а также воды от поливки улиц. В атмосферных водах наблюдается высокая концентрация кварцевого песка, глинистых частиц, мусора и нефтепродуктов, смываемых с улиц города. Загрязнение территории промышленных предприятий приводит к появлению в ливневых водах примесей, характерных для данного производства. Отличительной особенностью ливневого стока является его эпизодичность и резко выраженная неравномерность по расходу и концентрациям загрязнений.

*2.2. Нерастворенные, оседающие и неоседающие вещества в сточных водах. Гидравлическая крупность. Кривые седиментации. Характеристика оседаемых веществ.*

Нерастворенные вещества в сточных водах могут быть в грубодисперсном (в виде крупной взвеси) и тонкодисперсном (суспензии, эмульсии и пена) состоянии.

*Взвешенные вещества* - показатель, характеризующий количество нерастворенных примесей, которое задерживается на бумажном фильтре при фильтровании пробы. Массу их определяют после высушивания при температуре 105°C (т. е. по сухому веществу).

*Взвешенные вещества* - это один из важнейших технологических показателей качества воды, позволяющий оценить количество осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод. Кроме того, этот показатель используется в качестве расчетного параметра при проектировании первичных отстойников. Количество взвешенных веществ - один из основных нормативов при расчете необходимой степени очистки сточных вод.

В зависимости от размеров отдельных частиц (степени дисперсности) и их

плотности взвешенные вещества могут выпадать в виде осадка, всплывать на поверхность воды или оставаться во взвешенном состоянии.

Оседающими называют нерастворенные вещества, выпадающие на дно сосуда в виде осадка при 2-часовом отстаивании в лабораторных условиях: содержание оседающих веществ выражается по объему в мл/л или по массе (после сушки выпавшей взвеси при  $105^{\circ}\text{C}$  и последующего взвешивания) в мг/л. К неоседающим относят вещества, не выпадающие в осадок в этих сосудах за 2 ч отстоя. В городских сточных водах оседающие вещества в среднем составляют 50-75% общей концентрации взвешенных веществ.

Общая масса взвешенных веществ в бытовых сточных водах составляет около 65 г на одного человека в сутки, из них оседающих веществ — от 35 до 50 г (в среднем 40 г на одного человека в сутки по сухому веществу), что составляет 60—75% общей массы.

Концентрация взвешенных веществ в сточных водах зависит в основном от нормы водоотведения в сутки на 1 человека.

Характеристику оседающих нерастворенных веществ можно получить по кинетике их выпадения в осадок. Объем осадка при лабораторных исследованиях определяют в коническом сосуде или цилиндре (сосуде Лисенко) вместимостью 0,5—1 л, нижняя часть которого градуирована на кубические сантиметры.

Кинетика выпадения взвешенных веществ (взвеси) может производиться весовым или объемным способом. В 6 сосудов наливают испытуемую сточную жидкость до назначенной отметки на стенке сосуда и засекают на хронометре

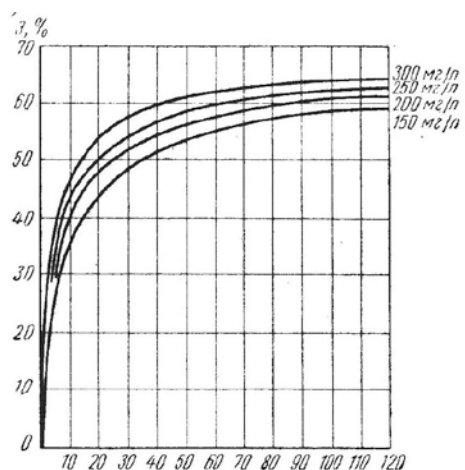


Рисунок 1 - Зависимость эффекта осветления сточных вод от продолжительности отстаивания в лабораторных сосудах по данным исследования проф. С. М. Шифрина

(рис. 1) указана зависимость эффекта осветления сточных вод от длительности их отстаивания в лабораторных сосудах.

Также можно экспериментально определить гидравлическую крупность частиц взвеси, выпадающих в осадок в мм/сек, получаемых как частное от деления пройденного частицей взвеси пути при падении ее на дно сосуда на продолжительность отстаивания. *Гидравлическая крупность частицы* – скорость осаждения частицы при температуре воды  $10^{\circ}\text{C}$ .

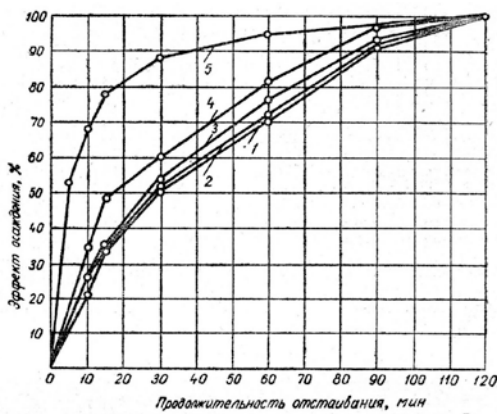


Рисунок 2 - Кривые осаждения взвешенных веществ, содержащихся в бытовых сточных водах  
 1 — при начальной концентрации осаждающихся взвешенных веществ 0,5—1,0 мг/л; 2 — то же, 1,6—2,5 мг/л; 3 — то же, 2,6—3,4 мг/л; 4 — то же, 3,5—4,7 мг/л; 5 — то же, 5,5—10,3 мг/л

Таким образом получают кинетику падения взвешенных веществ из сточных вод весовым способом. Для получения данных кинетики объемным способом определяют количество выпавшего осадка на дно сосуда в  $см^3$  в соответствующие интервалы времени и строят график, подобный графику на рис. 14.3, а, (рис. 2) При этом за 100% принимают объем осадка, выпавшего за 2 ч. Более правильным следует считать весовой способ определения кинетики выпадения взвеси по сравнению с объемным способом.

Одной из важных характеристик осадка является его влажность. Влажность — отношение массы воды в осадке к общей массе осадка и выражается в %. Выпавший осадок бытовых вод при отстаивании в течение 2 ч имеет первоначальную влажность около 97,5%. В дальнейшем осадок уплотняется, влажность его уменьшается до 93—95%, а содержание сухого вещества в единице объема повышается с 2,5 до 5—7%. В силу большой влажности осадка, с которой обычно приходится иметь дело (80% и более), плотность осадка очень близка к плотности воды, и поэтому можно считать, что объем осадка при изменении его влажности меняется в том же отношении, как и его масса. Объем (а, следовательно, и масса) сырого осадка при уплотнении уменьшается обратно пропорционально проценту содержания в нем сухого вещества.

Как указывалось, нерастворимые вещества, содержащиеся в сточных водах, состоят из органической и неорганической частей. Для определения массы тех и других осадок высушивают при температуре 105° С, а затем воздушно-сухой осадок прокаливают при температуре 600° С. При прокаливании органическая часть сгорает, а неорганическая остается в виде золы. Отношение массы оставшейся золы к общей массе абсолютно сухого вещества осадка, выраженное в процентах, определяет зольность осадка; потеря при прокаливании (100% минус зольность) определяет количество беззольного вещества.

В осадке бытовых сточных вод масса золы колеблется от 20 до 30%, а масса беззольного вещества — от 70 до 80%.

### 2.3. Коллоидные и растворенные вещества в сточных водах.

Коллоидную систему сточных вод образуют как гидрофильные, так и гидрофобные коллоиды.

Гидрофильные коллоиды характеризуются способностью дисперсных частиц связывать молекулы воды, служащей дисперсионной средой. Они представлены преимущественно органическими соединениями, обладающими большим молекулярным весом, — углеводами (клетчатка, целлюлоза, крахмал), белками (альбумин, гемоглобин, казеин молока, животный и рыбий клей), мылами, большинством органических красителей, микроорганизмами и др.

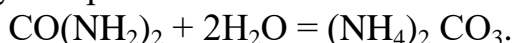
Гидрофобные коллоиды отличаются неспособностью дисперсных частиц связывать молекулы воды, служащей дисперсионной средой. К гидрофобным

коллоидам относятся глина, гидраты окиси железа и алюминия, силиций, обеззоленный уголь и др.

На химический состав коллоидных и растворенных веществ бытовых сточных вод большое влияние оказывают белки, жиры, углеводы пищевых продуктов, а также состав водопроводной воды, содержащей обычно ту или иную концентрацию гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов и иногда железа. Содержание коллоидов в бытовых сточных водах составляет 30-40% содержания взвешенных веществ.

Содержание растворенных в сточных водах веществ, или *плотный остаток* (сухой остаток), определяют выпариванием фильтрата, т. е. воды, прошедшей через беззольный фильтр. Полученный после выпаривания остаток высушивают и взвешивают. Количество органической и минеральной части взвешенных, коллоидальных и растворенных веществ определяют прокаливанием их при  $600^{\circ}$  и взвешиванием получаемой после этого остывшей золы. Разность весов вещества до и после прокалывания называют летучей или органической частью, а оставшуюся золу называют нелетучей или минеральной частью определяемого вещества.

Белковые вещества в живом организме в процессе обмена веществ дают мочевины  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , которая под влиянием гнилостных бактерий в сточной воде подвергается гидролизу с образованием азота аммонийных солей:



В этом виде, т. е. в виде карбоната аммония, азот находится в сточных водах. В дальнейшем карбонат аммония, разлагаясь, может давать аммиак. Образование аммиака происходит по уравнению



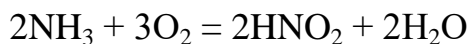
Необходимо различать азот, который присутствует в виде растворенного аммиачного газа, и азот, который присутствует в ионе аммония в истинном растворе. При  $\text{pH} = 7$  присутствуют только ионы аммония в истинном растворе; при  $\text{pH} = 12$  присутствует только растворенный газ — аммиак; при  $7 < \text{pH} < 12$  могут присутствовать обе формы.

Масса азота аммонийных солей на одного человека в сутки колеблется в очень небольших пределах — 7-8 г.

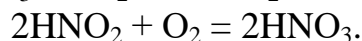
Кроме азота, органические вещества, входящие в состав сточных вод, содержат углерод, серу, фосфор, калий, натрий и хлор в виде солей, а также железо. Масса этих веществ в бытовых водах при исчислении на одного человека в сутки более или менее одинакова.

#### *2.4. Процессы нитрификации и денитрификации, их значение при очистке сточных вод.*

При соответствующих условиях (наличие кислорода, температура выше  $4^{\circ}\text{C}$  и др.) под действием аэробных микроорганизмов (нитрифицирующих бактерий) происходит окисление азота аммонийных солей, в результате чего образуются сначала соли азотистой кислоты, или нитриты, а при дальнейшем окислении — соли азотной кислоты, или нитраты, т. е. происходит процесс *нитрификации*.



или



Первая фаза нитрификации происходит в три раза быстрее второй.

На окисление 1 мг аммонийного азота расходуется мгO<sub>2</sub>: в нитриты — 3,43, в нитраты — 4,57.

Процесс нитрификации является конечной стадией минерализации азотсодержащих органических загрязнений. Наличие нитратов в очищенных сточных водах служит одним из показателей степени их полной очистки, такой показатель характеризует совершенную работу сооружений для биологической очистки сточных вод.

Нитрификация имеет большое значение в очистке сточных вод, так как этим путем накапливается запас кислорода, который может быть использован для окисления органических безазотистых веществ, когда полностью уже израсходован для этого процесса весь свободный (растворенный) кислород.

Под действием денитрифицирующих бактерий связанный кислород отщепляется от нитритов и нитратов и вторично расходуется для окисления органического вещества. Процесс этот называется денитрификацией. Он сопровождается выделением в атмосферу свободного азота в форме газа.

Денитрифицирующие бактерии относятся к факультативным анаэробным бактериям.

При денитрификации нитритов освобождается в расчете на 1 мг азота 1,71 мг кислорода, а при денитрификации нитратов на 1 мг азота освобождается 2,85 мг кислорода. Освобожденный кислород вторично используется для окисления органических веществ.

### 2.5. Растворение и потребление кислорода.

В канализационных очистных сооружениях, которые служат для минерализации органических загрязнений, входящих в состав сточных вод, одновременно протекают два процесса: потребление кислорода и его растворение. Установлено, что минерализация органического вещества, происходящая в результате его окисления при содействии микроорганизмов-минерализаторов или так называемого биохимического окисления, совершается в две фазы: в первой фазе окисляются углеродсодержащие вещества, дающие в результате углекислоту и воду, во второй — азотсодержащие вещества сначала до нитритов, а затем до нитратов.

При достаточном содержании кислорода скорость окисления в первой (углеродистой) фазе подчиняется, как это установлено, определенному закону: скорость окисления, или скорость потребления, кислорода при неизменной температуре в каждый данный момент пропорциональна массе органического вещества, находящегося в воде. Следовательно, по мере окисления органического вещества, если нет поступления новых загрязнений, скорость окисления все время уменьшается.

Этот закон дает возможность вывести уравнения потребления кислорода:

$$L_t = L_a - x_t$$

где  $L_a$  - содержание кислорода, необходимого для окисления всего органического вещества, имеющегося в начале процесса, (БПК<sub>полн</sub>);

$x_t$  - содержание кислорода, потребленного за время  $t$ , мг/л;

$L_t$  - содержание кислорода, требуемое для окисления оставшихся по истечении времени  $t$  органических загрязнений (БПК<sub>t</sub>).

В результате математических преобразований (дифференцирования, интегрирования) получаем уравнения процесса потребления кислорода при биохимическом окислении органического вещества:

$$L_t = L_a \cdot 10^{-k_1 t}$$

где  $k_1$  – константа скорости потребления кислорода.

Время, требуемое для снижения потребления кислорода от  $L_a$  до  $L_t$  можно выразить следующим уравнением

$$t = \frac{1}{k_1} \lg \frac{L_a}{L_t}$$

Из этой формулы видно, что достигнуть полного окисления всего органического вещества, при котором  $L_t$  было бы равным нулю, теоретически невозможно, так как требуемое для этого время должно быть равно бесконечности.

Скорость растворения кислорода, согласно указанному выше закону, в каждый данный момент обратно пропорциональна степени насыщенности воды кислородом или прямо пропорциональна его недонасыщенности (дефициту). Это относится, конечно, лишь к поверхности соприкосновения воды с кислородом (диффузионному слою). Для того чтобы эта скорость растворения относилась ко всей массе воды, необходимо интенсивное ее перемешивание.

Если обозначить через  $D_a$  начальный дефицит кислорода, выраженный в долях от полного дефицита, а через  $D_t$  — дефицит кислорода в воде по прошествии времени  $t$ , то процесс растворения может быть выражен уравнением

$$D_t = D_a \cdot 10^{-k_2 t}$$

где  $k_2$  — константа скорости растворения кислорода, зависящая от природы газа, температуры среды, состояния поверхности и условий перемешивания воздуха с водой.

## 2.6. Биохимическая потребность в кислороде (БПК), химическая потребность в кислороде (ХПК) и окисляемость сточных вод.

Под окисляемостью понимают общее содержание в воде восстановителей органической и неорганической природы. В городских сточных водах подавляющую часть восстановителей составляют органические вещества, поэтому считается, что величина окисляемости полностью относится к органическим примесям.

От природы используемого окислителя:

- химическую окисляемость, если при определении используют химический окислитель;

- биохимическую, окислительный агент - аэробные бактерии, показатель - биохимическая потребность в кислороде - БПК.

Химическая окисляемость может быть

- перманганатной (окислитель  $\text{KMnO}_4$ ), кислородный эквивалент легко окисляемых примесей,

- бихроматной (окислитель  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ),

- иодатной (окислитель  $\text{KIO}_3$ ).

Бихроматную и иодатную окисляемость называют химической потребностью в кислороде или ХПК.

*Биохимической потребностью в кислороде (БПК)* - количество кислорода, которое расходуется для биохимического окисления органических веществ в определенный интервал времени, называется, которая выражается в мг/л. По величине БПК можно установить степень загрязненности сточных вод и воды водных объектов органическими веществами. Чем больше БПК, тем более загрязнены сточные воды, и наоборот.

БПК – метод определения количества израсходованного кислорода на дыхательную деятельность микроорганизмов, использующих органическое вещество для роста и метаболизма. БПК является мерой содержания только тех органических веществ, которые могут служить потребляемым субстратом для микроорганизмов.

За БПК полное условно принимают биохимическую потребность в кислороде воды, доведенную до начала нитрификации, т.е. до появления в воде небольших количеств ( $0,1 \text{ мг/дм}^3$ ) нитритов. Для бытовых сточных вод к 20-му дню инкубации окисление углеродсодержащей органики завершается полностью. Т.е. практически  $\text{БПК}_{\text{полн}} = \text{БПК}_{20}$ . Значение  $\text{БПК}_{20}$  принимается для расчета очистных сооружений.

Из-за длительности определения  $\text{БПК}_{20}$  наибольшее распространение получило определение БПК за 5 суток (так называемая пятисуточная проба  $\text{БПК}_5$ ), что соответственно указывается в анализах. Определение  $\text{БПК}_5$  рекомендуется как стандартное при эксплуатации очистных сооружений.

В бытовой воде  $\text{БПК}_5$  составляет 60-70% от  $\text{БПК}_{\text{полн}}$ , т.е. соотношение  $\text{БПК}_5/\text{БПК}_{\text{полн}}=0,6-0,7$ . Для промышленных сточных вод  $\text{БПК}_5$  может составлять 15-50% от  $\text{БПК}_{\text{полн}}$ .

Для отстоенных сточных вод при отсутствии экспериментальных данных с достаточной точностью можно принимать коэффициент пересчета с  $\text{БПК}_5$  на  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  равным 1,5.

Величина  $\text{БПК}_5$  для неочищенных городских сточных вод колеблется от  $100-500 \text{ мг/дм}^3$ . После вторичных отстойников в зависимости от качества очистки  $\text{БПК}_5$  -  $10-40 \text{ мг/дм}^3$ .

Для более полной оценки содержания органических веществ в сточной воде, особенно если она представляет собой смесь бытовых и производственных вод, в последнее время определяют (кроме БПК) химическое потребление кислорода (ХПК). *Химическое потребление кислорода* - количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ химическими методами (бихроматом и иодатом). Величина, характеризующая общее содержание в во-

де восстановителей (органических и неорганических), реагирующих с сильными окислителями. Бихроматом окисляются почти все органические вещества на 95-98%, а также некоторые неорганические вещества ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ).

Величина ХПК для неочищенных городских сточных вод колеблется от 200-900 мг/дм<sup>3</sup>, а после биологической очистки остается до 50-300 мг/дм<sup>3</sup>, после доочистки на фильтрах 20-40 мг/дм<sup>3</sup>.

Для бытовых сточных вод БПК<sub>20</sub> составляет 86% ХПК; однако многие производственные воды имеют ХПК, превышающую БПК<sub>20</sub> на 50% и более. Условно принимается в городских сточных водах БПК<sub>20</sub> составляет 50% от ХПК.

При соотношении БПК/ХПК в поступающих на очистку водах >0,5-0,7 сточные воды целесообразно очищать биологическим способом. При снижении этого коэффициента более эффективно применение физико-химической очистки.

### 2.7. Аэробные и анаэробные процессы.

Сложные органические соединения сточных вод благодаря биохимическим процессам подвергаются распаду до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Эти процессы называются минерализацией (стабилизацией) органических соединений.

Минерализация органических веществ происходит под воздействием микроорганизмов, которые используют эти вещества в процессе питания как пластический материал — для построения тела микроорганизмов (плазма, оболочка) и энергетический — для своих жизненных функций. Различают две группы микроорганизмов — аэробные и анаэробные. Первые нуждаются в кислороде воздуха, вторые, наоборот, не выносят его присутствия. При аэробных биохимических процессах происходит окисление органических веществ, содержащих углерод, азот, серу, фосфор, до минеральных солей (углекислых, азотнокислых, сернокислых и фосфорнокислых) и углекислоты.

В результате анаэробных (восстановительных) процессов образуются главным образом газы: метан ( $\text{CH}_4$ ), углекислота ( $\text{CO}_2$ ), сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ) и водород ( $\text{H}_2$ ), а также промежуточные продукты распада многих органических веществ.

Аэробные процессы используются главным образом для очистки сточных вод, содержащих органические загрязнения преимущественно в коллоидном и растворенном состоянии (биохимическая очистка сточных вод). Анаэробные процессы применяют для обработки и обезвреживания осадков, выделяемых из сточных вод, а также для очистки концентрированных по органическим загрязнениям промышленных сточных вод.

### 2.8. Бактериальное и биологическое загрязнение сточных вод.

Микробное число оценивает общую обсемененность сточных вод микроорганизмами и косвенно характеризует степень загрязненности воды органическими веществами - источниками питания аэробных сапрофитов. Этот показатель для городских сточных вод колеблется в пределах  $10^6 - 10^8$ .



Сточные воды содержат большое число микроорганизмов, в том числе болезнетворных (патогенных) бактерий, что делает эту воду опасной в санитарном отношении. В бытовых сточных водах встречаются бактерии брюшного тифа, дизентерии и другие возбудители желудочно-кишечных заболеваний, а также яйца гельминтов (глистов), поступающие в сточные воды с выделениями людей и животных.

Для определения зараженности воды болезнетворными бактериями проводят анализ на наличие в ней особого вида бактерий — группы кишечной палочки (бактерии *Coli*), являющейся типичным представителем кишечной микрофлоры.

Кишечная палочка, не являясь сама по себе болезнетворной бактерией, служит показателем того, что вода загрязнена указанными выделениями, а следовательно, в ней могут быть и болезнетворные бактерии.

Чтобы оценить степень бактериального загрязнения воды, определяют коли-титр (титр кишечной палочки) или тот наименьший объем воды в миллилитрах, в котором содержится одна кишечная палочка. Для бытовых сточных вод коли-титр обычно составляет 0,000001 и ниже, т. е. одна бактерия *Coli* содержится в объеме сточной воды 0,000001 мл и меньше. Иногда определяют коли-индекс, т. е. число кишечных палочек в 1 л воды.

В сточных водах могут развиваться плесневые и дрожжевые грибы, водоросли, составляющие биологическое их загрязнение.

#### *2.9. Активная реакция, относительная стабильность сточных вод.*

Активная реакция. Реакция сточных вод имеет большое значение для процесса очистки сточных вод. Обычно активную реакцию сточных вод выражают через рН, т. е. концентрацию водородных ионов, которая выражается величиной отрицательного логарифма этой концентрации.

Бытовые сточные воды имеют слабощелочную реакцию, обычно рН = 7,2...7,6. Производственные сточные воды в зависимости от рода производства и характера технологического процесса отдельных цехов могут иметь различную реакцию — от сильнокислой до сильнощелочной.

Оптимальной средой для развития бактерий является рН от 7 до 8. Но возможны колебания. Так, например, нитритные бактерии развиваются при рН = 6—9, а нитратные — 6,5—8,6. Некоторые серные бактерии могут существовать в среде с рН, равным 1—4, т. е. сильно кислой среде.

Оптимальные условия для работы очистных сооружений создаются при рН сточной жидкости в пределах 7—7,6.

Относительная стабильность (стойкость) сточных вод. Способность сточных вод загнивать через определенный промежуток времени характеризует степень очистки этих вод и их относительную стабильность, или стойкость.

Относительная стабильность, или стойкость, сточных вод - отношение, выраженное в процентах запаса в воде кислорода в форме растворенного, нитритного и нитратного, к полной биохимической потребности в кислороде этих сточных вод. Относительную стабильность сточных вод при температуре 20° можно выразить следующей формулой:

$$S = 100 \cdot (1 - 0,794^t)$$

где  $S$  — относительная стабильность, или стойкость, сточных вод в процентах;  
 $t$  — количество суток, в течение которых был потреблен весь растворенный в жидкости кислород, и срок начала ее загнивания.

Очевидно, что чем больше кислорода находится в жидкости, тем больше суток потребуется для начала ее загнивания.

При  $t=0,5$  сут,  $S=11\%$  - для сточной воды, поступающей на очистные сооружения. При  $t=20$  сут,  $S=99\%$  - для биологически очищенных сточных вод.

### 2.10. Определение концентрации загрязнения сточных вод.

При проектировании же очистных сооружений для вновь осуществляемых населенных пунктов или реконструируемых городов состав сточных вод получают по расчету. Для этого необходимо знать характер и количество загрязнений, вносимых в сточные воды в сутки от каждого человека, пользующегося канализацией, и норму водоотведения в л/сут на 1 человека.

Концентрация загрязнений бытовых стоков определяют по формуле:

$$C_{\text{быт}} = \frac{a \cdot 1000}{q_n}, \text{ мг / дм}^3$$

где  $a$  - количество загрязнений от 1 жителя в сутки (определяют по табл. 10.1. СН 4.01.02-2019);

$q_n$  - норма водоотведения, л/сут·жит.

Определение средних концентраций загрязнений общего стока производят по формуле:

$$C_{\text{см}} = \frac{C_{\text{быт}} \cdot Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт}} + \sum_{i=1}^m C_{i \text{ пром}} \cdot Q_{i \text{ ср.сут.}}^{\text{пром}}}{Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт}} + \sum_{i=1}^m Q_{i \text{ ср.сут.}}^{\text{пром}}}, \text{ мг / дм}^3$$

где  $C_{\text{быт}}$  - концентрация загрязнений в бытовых сточных водах, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{i \text{ пром}}$  - концентрации загрязнений в сточных водах промышленных предприятий, мг/дм<sup>3</sup>;

$Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт}}$ ,  $Q_{i \text{ ср.сут.}}^{\text{пром}}$  - расходы сточных вод соответственно бытовых и промышленных предприятий, м<sup>3</sup>/сут.

$m$  – количество предприятий.

### Тема 3. Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами

(Теоретический раздел)

3.1. Загрязнение водных объектов сточными водами. Процессы самоочищения водных объектов.

3.2. Процессы смешения и разбавления сточных вод в водотоках.

3.3. Потребление и растворение кислорода в воде водных объектов.

3.4. Влияние выпадающего осадка на состояние водных объектов. Бактериальное самоочищение водных объектов.

3.5. Условия спуска сточных вод в системы водоотведения городов и в водные объекты.

3.6. Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.

*3.1. Загрязнение водных объектов сточными водами. Процессы самоочищения водных объектов.*

Загрязнение воды водных объектов может быть

- естественное - образуется за счет отмирания обитателей, населяющих водные объекты, — животного и растительного мира, а также за счет загрязнений, поступающих в водоемы с дождевыми и талыми водами.

- искусственное – поступление в водные объекты неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод населенных мест и промышленных предприятий, а также нерациональное использование сельскохозяйственных удобрений.

В результате воздействий загрязнений, поступивших со сточными водами вода водного объекта характеризуется: 1) появлением плавающих веществ на поверхности воды и отложением на дне осадка; 2) изменением физических свойств воды, а именно прозрачности и цветности, появлением запахов и привкусов; 3) изменением химического состава воды (реакции, количества органических и минеральных примесей, появление ядовитых веществ и др.); 4) уменьшением количества растворенного в воде кислорода, расходуемого на окисление поступивших органических загрязнений; 5) изменением видов и количества бактерий и появлением болезнетворных бактерий за счет поступления их вместе со сточными водами.

В практике санитарной охраны водных объектов устанавливаются предельно допустимыми концентрациями (ПДК) веществ, влияющих на качество воды.

За ПДК принимают ту максимальную концентрацию вещества, при которой не нарушаются (не ухудшаются) процессы минерализации органических веществ органолептические свойства воды и промысловых организмов (рыб, раков, моллюсков) и не допускаются токсические вещества, которые могут вызвать нарушения в жизнедеятельности (выживаемость, рост, размножение, плодовитость, качество потомства) основных групп водных организмов (растений, беспозвоночных животных, рыб), играющих важнейшую роль в формировании качества воды, создании и трансформации органического вещества.

Следовательно, ПДК должна обеспечивать нормальный ход биологических процессов, формирующих качество воды, и не ухудшать товарные качества промысловых организмов. При одновременном присутствии нескольких вредных веществ ПДК каждого должна быть соответственно уменьшена в связи с их аддитивным действием.

#### *Процессы самоочищения водных объектов.*

Количество загрязнений, вносимых в водный объект вместе со спускаемыми сточными водами, в результате сложных физических, химических и биологических превращений, происходящих в водоеме, постепенно уменьшается. Уменьшение концентрации всех загрязнений, поступающих в водоем, происходит, кроме того, вследствие разбавления сточных вод водой водоема. В результате влияния всех перечисленных факторов в водном объекте происходит снижение концентрации загрязнений или даже полное их исчезновение. Способность водного объекта ликвидировать поступающие в него со сточными водами загрязнения носит название самоочищения водного объекта.

Самоочищающая способность водного объекта зависит от многих природных факторов: объема речного стока, скорости потоков, глубины потока, химического состава воды, ее температуры и т. д. Учесть их все при прогнозировании очень трудно.

#### *3.2. Процессы смешения и разбавления сточных вод в водотоках*

Самоочищающая способность водотока зависит от условий смешения и разбавления сточных вод водой водотока.

При определении степени смешения нельзя принимать в расчет весь расход реки, так как вблизи места выпуска достаточно полного смешения еще нет — оно происходит на некотором расстоянии от места выпуска.

Для учета расхода реки, участвующего в смешении, т. е. процессов разбавления, вводят коэффициент смешения  $K_{см}$ , показывающий, какая часть расхода реки смешивается со сточной водой в данном створе.

При спуске сточных вод в водотоки значение  $K_{см}$ , определяется:

$$K_{см} = \frac{1 - e^{-K_{г.у.} \cdot \sqrt[3]{L}}}{1 + \left(\frac{Q}{q}\right) \cdot e^{-K_{г.у.} \cdot \sqrt[3]{L}}}$$

где  $Q$  – наименьший среднемесячный расход воды (при 95%-ной обеспеченности) в створе реки у места выпуска сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$L$  – расстояние от створа выпуска сточных вод до расчетного створа по течению (фарватеру) реки, м;

$e$  – основание натурального логарифма;

$K_{г.у.}$  – коэффициент, зависящий от гидравлических условий смешения, определяется по формуле:

$$K_{г.у.} = K_{изв.} \cdot K_{вып.} \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}}$$

где  $K_{вып.}$  - коэффициент, учитывающий место расположения выпуска, при береговом выпуске  $K_{вып.} = 1$ , при русловом выпуске  $K_{вып.} = 1,5$ ;

$K_{изв.}$  - коэффициент извилистости русла, определяется по формуле:

$$K_{изв.} = \frac{L_{фр}}{L_{пр}}$$

$D$  - коэффициент турбулентной диффузии, определяется по формуле:

$$D = \frac{v_{ср} \cdot H_{ср}}{200}$$

где  $v_{ср}$  - средняя скорость течения воды в реке, м/с;

$H_{ср}$  - средняя глубина воды в реке, м.

Для определения кратности разбавления в расчетных створах следует применять формулу:

$$n = \frac{K_{см} \cdot Q + q}{q}$$

Расчетный (контрольный) створ - створ, расположенный на водотоках на 1 км выше по течению от ближайшего пункта водопользования (водозабор, место отдыха, территория населенного пункта). Для рыбохозяйственных водотоков – контрольный створ расположен на расстоянии не далее 500 м ниже по течению от места выпуска сточных вод.

### 3.3. Потребление и растворение кислорода в воде водных объектов.

Для того чтобы процесс самоочищения протекал нормально, необходимо наличие в водном объекте после спуска в него сточных вод запаса растворенного кислорода.

В водном объекте одновременно происходит, с одной стороны, потребление кислорода на минерализацию органических веществ, а с другой — пополнение его за счет растворения кислорода, поступающего с поверхности водного зеркала, т. е. так называемая реэрация.

Процесс потребления кислорода, как указывалось ранее, определяется уравнением  $L_t = L_a \cdot 10^{-k_1 t}$  или формулой (1)

$$\lg \frac{L_t}{L_a} = -k_1 t \quad (1)$$

Процесс реэрации определяется уравнением  $D_t = D_a \cdot 10^{-k_2 t}$  или формулой (2)

$$\lg \frac{D_t}{D_a} = -k_2 t \quad (2)$$

где  $L_a$  — БПК<sub>полн</sub> в начальный момент процесса потребления кислорода, мг/л;

$L_t$  — БПК<sub>полн</sub> по прошествии времени  $t$ , мг/л;

$D_a$  — дефицит растворенного кислорода в начальный момент у места выпуска сточных вод, мг/л;

$D_t$  — дефицит растворенного кислорода по прошествии времени  $t$ , мг/л;

$k_1$  — константа скорости потребления кислорода (БПК) при данной температуре воды;

$k_2$  — константа реэрации кислорода при данной температуре воды;  
 $t$  — время, в течение которого идут потребление и реэрация кислорода, сутки.

При одновременном действии обоих процессов во взаимно противоположном направлении (один уменьшает количество растворенного кислорода, а другой увеличивает его до степени насыщения) окончательная скорость изменения дефицита кислорода может быть выражена уравнением баланса кислорода

$$\frac{dD_t}{dt} = k_1' L_t - k_2' D_t \quad (3)$$

после интегрирования которого получим уравнение дефицита кислорода (Стриттера — Фельпса) по прошествии времени  $t$ :

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a 10^{-k_2 t} \quad (4)$$

Графическое изображение процессов потребления и растворения кислорода (рис. 1)

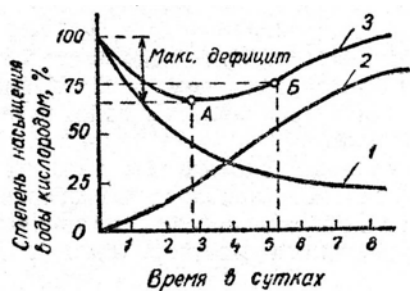


Рис. 1 Схема изменения кислородного баланса

1 — степень потребления кислорода без реэрации по уравнению (1); 2 — процесс реэрации по уравнению (2); 3 — то же, по уравнению (4); А — критическая точка максимального дефицита кислорода; Б — точка максимальной скорости восстановления кислорода

Как видно из рисунка, общее содержание растворенного кислорода сначала падает до известного минимума (пункт наибольшего загрязнения), а затем, примерно с четвертого дня, начинает возрастать. Место наименьшего содержания кислорода на кривой 3 носит название кислородного прогиба (критическая точка), в этой точке наибольший дефицит кислорода.

Эта точка иллюстрирует опасное состояние водоема в санитарном отношении. При достаточном количестве растворенного кислорода в этой критической точке можно предполагать, что на остальных участках рассматриваемой расчетной протяженности водоема будет больше растворенного кислорода, чем в критической точке.

Кислородный режим реки зависит от температуры. При повышении температуры воды скорость потребления кислорода возрастает, а так как скорость реэрации при этом почти не изменяется, то летом минимум содержания кислорода наступает быстрее и содержание кислорода в реке будет меньше. Принимая к тому же во внимание, что растворимость кислорода в воде летом уменьшается, следует признать летние условия в отношении содержания кислорода в реке менее благоприятными, чем зимние (при отсутствии ледяного покрова). Поэтому при расчетах необходимой степени очистки сточных вод перед выпуском их в водный объект учитывают условия самоочищения водного объекта в летний период.

*3.4. Влияние выпадающего осадка на состояние водных объектов. Бактериальное самоочищение водных объектов.*

Выпавший осадок. При спуске неочищенных сточных вод в водный объект вначале происходит выпадение на дно водного объекта загрязнений, нахо-

дящихся во взвешенном (нерастворенном) состоянии. Чем меньше скорости течения водного объекта, тем больше взвешенных веществ выпадает в осадок недалеко от места выпуска сточных вод. Органические вещества осадка подвергаются минерализации. При недостатке растворенного в воде водного объекта кислорода начинается анаэробный процесс распада органической части осадка с выделением сероводорода, углекислоты, метана. Всплывающие со дна водного объекта газы поднимают на поверхность водного объекта частицы разлагающегося осадка, при этом пузырьки лопаются и распространяются в атмосфере. Таким образом, создаются антисанитарные условия, отравляющие воду и воздух. Анаэробное разложение осадков сточных вод, выпавших на дно водного объекта, при поступлении новых порций осадка может происходить непрерывно длительное время, и процесс самоочищения водного объекта прекращается. Поэтому сточные воды до выпуска их в водный объект должны быть освобождены в первую очередь от загрязнений, находящихся в нерастворенном состоянии (взвешенных веществ).

Бактериальное загрязнение. Неочищенные сточные воды, выпускаемые в водный объект, вносят с собой большое количество бактерий. Кроме того, биохимические процессы окисления органических веществ загрязнений способствуют развитию большого количества бактерий.

По мере минерализации органических соединений ухудшаются условия для развития бактерий в водном объекте и происходит их отмирание.

Уменьшение бактериального населения в водном объекте происходит вследствие уничтожения бактерий инфузориями, коловратками и другими микроорганизмами, являющимися активными агентами биохимической очистки воды. На отмирание бактерий влияют также физико-химические факторы: температура воды, реакция среды и т. п. Явление уменьшения количества бактерий называют бактериальным самоочищением водных объектов, что устанавливается соответствующими исследованиями. Окончание бактериального процесса самоочищения не всегда совпадает с другими показателями самоочищения водных объектов (например, растворенный кислород, БПК и пр.).

### *3.5. Условия спуска сточных вод в системы водоотведения городов и в водные объекты.*

При расположении промышленного предприятия в черте города или вблизи него, загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Для предотвращения нарушения технологического процесса биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, сбрасываемые воды должны удовлетворять определенным требованиям. Основные из них сводятся к следующему:

- производственные сточные воды не должны быть агрессивными по отношению к материалам водоотводящих сетей и сооружений, не должны содержать примеси такой крупности и такого удельного веса, которые могли бы засорять водоотводящую сеть города;

- в производственных сточных водах не должно быть горючих примесей - бензина, нефтепродуктов, эфиров, а также растворенных газообразных ве-

ществ, которые могли бы образовывать взрывоопасные смеси. При биологической очистке городских стоков концентрация нефтепродуктов не должна превышать допустимого предела для процесса биохимической очистки;

- температура смеси хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод не должна превышать 40°C;

- сбрасываемые в городскую водоотводящую сеть сточные воды не должны содержать бактерий, попадающих с продуктами выработки вакцин и сывороток;

- средние значения рН не должны превышать значений 6,5-7;

- производственные сточные воды, не отвечающие предъявляемым требованиям, подвергаются предварительной очистке на соответствующих локальных установках. Кроме того, предусматривается устройство гидравлических затворов в местах выпуска в городскую водоотводящую сеть.

По своему назначению водные объекты делятся на 2 группы:

- питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования;
- рыбохозяйственные.

Первые делятся на две категории;

- для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности;

- для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест.

Рыбохозяйственные объекты в свою очередь подразделяются на две категории:

- водные объекты, используемые для размножения, нагула, зимовки, миграции видов рыб отрядов лососеобразных и осетрообразных;

- иные поверхностные водные объекты.

При выпуске очищенных сточных вод в водный объект необходимо учитывать категорию водного объекта и ПДК загрязняющих веществ.

Условия спуска сточных вод в водные объекты регламентированы СанПиН 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнения», утв. 28.11.2005г. Этими правилами установлены нормативы качества воды для водных объектов питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования.

Показатели качества воды и нормативы ПДК химических и иных веществ в воде рыбохозяйственных водных объектов утверждены Постановлением Министерства ПриОС РБ от 30.03.2015г. №13 «Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов».

Нормативы качества воды для водных объектов рекреационного водопользования установлены Санитарными нормами и правилами «Требования к содержанию поверхностных водных объектов при их рекреационном использовании»; Гигиенический норматив «Допустимые значения показателей безопасности воды поверхностных водных объектов для рекреационного использования», утвержденные Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 5 декабря 2016 г. № 122.



### 3.6. Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах

#### 3.6.1. Общие требования.

Для того чтобы правильно запроектировать сооружения по очистке сточных вод перед выпуском их в водоток необходимо установить допустимые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.

Для этого необходимы данные о количестве и составе сточных вод, а также данные по водному объекту: его категория, минимальный расход воды, средняя глубина и скорость течения, физико-химический состав воды.

Допустимые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах устанавливаются по следующим показателям: ХПК, БПК<sub>5</sub>, взвешенным веществам, аммоний-иону, азоту общему, фосфору общему, а также по допустимым концентрациям токсичных примесей и других вредных веществ.

Связь между санитарными требованиями к условиям спуска сточных вод в водотоки (соответствие состава и свойств воды водотока, используемого для водопользования населения, установленным нормативам) и допустимой концентрацией загрязняющих веществ в сточных водах перед спуском их в водоток в общем виде выражается формулой:

$$C_{ст} \cdot q + C_{ф} \cdot k_{см} Q \leq (q + k_{см} Q) \cdot C_{ПДК} \quad (1)$$

где  $C_{ст}$  — допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, при которой не будут превышены допустимые пределы (расчетный показатель состава и свойств воды в соответствии с санитарными требованиями), мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{ф}$  — фоновая концентрация этого же загрязняющего вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм<sup>3</sup>;

$Q$  — наименьший среднемесячный расход воды (при 95%-ной обеспеченности) в водотоке у места выпуска сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$k_{см}$  — коэффициент смешения сточных вод с водой водотока, расчет см. предыдущую лекцию;

$C_{ПДК}$  — норматив предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде водотока, мг/дм<sup>3</sup>.

Из формулы (1) путем алгебраического преобразования получим значение  $C_{ст}$ , т. е. концентрации, которая должна быть достигнута в процессе очистки и обезвреживания сточных вод:

$$C_{ст} \leq \frac{(q + k_{см} Q) \cdot C_{ПДК} - C_{ф} \cdot k_{см} Q}{q} \quad (1a)$$

$$C_{ст} \leq \frac{k_{см} Q}{q} (C_{ПДК} - C_{ф}) + C_{ПДК} \quad (1б)$$

3.6.2. Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, по показателю ХПК, взвешенным веществам, азоту аммонийному, азоту общему, фосфору общему.

Допустимые концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод устанавливаются с учетом типа сточных вод, нормативов качества воды водно-

го объекта, фоновой концентрации нормируемых загрязняющих веществ в воде водного объекта, ассимилирующей способности водного объекта.

Допустимые концентрации загрязняющих веществ по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, азоту аммонийному, азоту общему, фосфору общему устанавливаются по «Инструкции о порядке установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод» (Постановление МПРиООС от 26 мая 2017 г. № 16), в зависимости от массы органических веществ, содержащихся в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, выраженной по эквивалентному населению (ЭН) или по массе органических веществ по БПК<sub>5</sub>, ( $M_{\text{БПК}_5}$ , кг/сут).

Эквивалент населения ЭН, чел, следует определять по формуле

$$\text{ЭН} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a}, \text{ чел}$$

где  $Q_{\text{ср.сут}}$  — среднесуточный суммарный расход производственных и бытовых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}$  — концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, оцениваемых по БПК<sub>5</sub>, г/м<sup>3</sup>;

$a$  — количество загрязняющих веществ, оцениваемых по БПК<sub>5</sub>, вносимых одним человеком в сточные воды, г/(чел·сут), определяемое по таблице 10.1 [СН 4.01.02-2019].

Масса органических веществ в составе сточных вод,  $M_{\text{БПК}_5}$ , кг/сут, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле:

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{1000}, \text{ кг / сут},$$

где  $C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}$  - среднесуточная концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, оцениваемая по БПК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>;

$Q_{\text{ср.сут}}$  - среднесуточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам может быть определена по формуле

$$\text{Э} = \frac{C_{\text{см}} - C_{\text{ДК}}}{C_{\text{см}}} \cdot 100, \%$$

где  $C_{\text{см}}$  — концентрация загрязняющего вещества в сточной воде до очистки, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{ДК}}$  - допустимая концентрация загрязняющего вещества в очищенных сточных водах, мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 1 - Допустимые значения показателей и концентраций загрязняющих веществ в составе хозяйственно-бытовых, городских сточных вод, удаляемых в процессе биологической очистки

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, ЭН (М <sub>БПК5</sub> )	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Аммоний-ион, мгN/дм <sup>3</sup>	Азот общий*, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>
До 500 (до 30 кг/сут)	125	25	30	25	-	-
501 – 2000 (от 30 до 120 кг/сут)	120	25	25	20	-	*
2001 – 10000 (от 120 до 600 кг/сут)	100	20	25	15	25	4,5
10001 – 100000 (от 600 до 6000 кг/сут)	80	20	20	15	20	3,0
Более 100001 (более 6000 кг/сут)	70	15	20	10	20	2,0

\* Сумма концентраций азота по Кьельдалю, нитрат-иона (в пересчете на азот) и нитрит-иона (в пересчете на азот).

3.6.3. Установление допустимых концентраций с учетом ассимилирующей способности водного объекта.

Ассимилирующая способность водного объекта - способность водного объекта принимать определенную массу веществ в единицу времени без нарушения нормативов качества воды в контрольном створе или пункте водопользования.

Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах,  $C_{ДК}$  (мг/дм<sup>3</sup>), рассчитывается по формуле:

$$C_{ДК} = [(n - 1)(C_{ПДК} - C_{Ф})] + C_{ПДК}$$

где  $n$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая согласно предыдущей лекции.

$C_{ПДК}$  – норматив предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде водотока, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{Ф}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм<sup>3</sup>.

Степень необходимой очистки по загрязняющему веществу может быть определена по формуле

$$\Theta = \frac{C_{см} - C_{ДК}}{C_{см}} \cdot 100, \%$$

где  $C_{см}$  — концентрация загрязняющего вещества в сточной воде до очистки, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{ДК}$  - допустимая концентрация загрязняющего вещества в очищенных сточных водах, мг/дм<sup>3</sup>.

### *3.6.4. Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток*

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{ов}} = n \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{ф}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

где  $T_{\text{ов}}$  - максимально допустимая температура отводимых сточных вод в водоток,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{ф}}$  - максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{доп}}$  - допустимое превышение температуры воды водотока,  $^\circ\text{C}$  (принимается по нормативным данным).

## Тема 4. Методы очистки сточных вод и обработки осадка. Схемы очистных станций.

(Теоретический раздел)

### 4.1. Методы очистки сточных вод.

### 4.2. Методы обработки осадков.

### 4.3. Схемы очистных станций.

#### *4.1. Методы очистки сточных вод.*

Методы, применяемые для очистки сточных вод, могут быть разделены на три группы: 1) механические; 2) физико-химические и 3) биологические. Для ликвидации бактериального загрязнения сточных вод применяют их обеззараживание (дезинфекцию).

**Механическая очистка** производится для выделения из сточной воды находящихся в ней нерастворенных грубодисперсных примесей путем процеживания, отстаивания и фильтрования.

Для задержания крупных загрязнений и частично взвешенных веществ применяют процеживание воды через различного рода решетки и сита.

Взвешенные частицы минерального происхождения, главным образом песка, выделяют из сточных вод путем осаждения в сооружениях, называемых песколовками.

Для выделения из сточной воды взвешенных веществ применяют отстаивание. При этом тяжелые частицы осаждаются на дно под действием силы тяжести, а легкие всплывают на поверхность. В основном выделяется мелкая взвесь, преимущественно органического характера.

Вещества, более легкие, чем вода, — жиры, масла, нефть, смолы и другие всплывающие на поверхность вещества — выделяются в сооружениях, называемых жироловушками, маслоуловителями, нефтеловушками и смолуловителями; эти сооружения применяются для очистки производственных сточных вод.

Для освобождения сточных вод от частиц очень мелкой суспензии, находящейся во взвешенном состоянии, применяют фильтрование сточных вод через ткань (сетку) или слой зернистого материала.

Механическая очистка может применяться как самостоятельный метод или как предварительная стадия перед биологической и физико-химической очисткой.

При механической очистке городских сточных вод задерживается до 60% нерастворенных загрязнений. На сооружениях механической очистки эффект снижения взвешенных веществ составляет 45-64%, что приводит также к снижению величины БПК<sub>5</sub> на 20-33%.

**Физико-химические методы очистки.** Химические методы заключаются в том, что в очищаемую воду вводят реагент (коагулянт и флокулянт), в результате химической реакции происходит 1) более полное выделение нерастворенных примесей; 2) растворимые соединения преводятся в нерастворимые или в растворимые, но безвредные; 3) изменяется реакция сточных вод pH; 4)

обесцвечивание окрашенной воды и пр.

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

Данными методами можно обеспечить глубокую очистку сточных вод, интенсифицировать механическую очистку сточных вод или заменить биологическую очистку.

Физико-химические методы очистки городских сточных вод, с учетом технико-экономических показателей, используют весьма редко, чаще всего используют при очистке производственных сточных вод. При этом в зависимости от местных условий тот или иной метод может явиться окончательной стадией либо предварительной стадией.

Химический метод очистки позволяет уменьшить количество загрязнений сточных вод: нерастворенных — до 95% и растворенных — до 25%, при этом БПК, сточных вод может быть снижена до 80%. В некоторых случаях химический метод позволяет удалить до 100% растворенных веществ, например, соли тяжелых металлов.

**Метод биологической очистки.** Основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания. Сооружения биологической очистки условно могут быть разделены на два вида. К первому виду относятся сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях, близких к естественным (поля фильтрации, поля орошения и биологические пруды). В сооружениях второго вида аналогичная очистка осуществляется в искусственно созданных условиях - в аэротенках и биофильтрах.

Биологическая очистка может быть неполной - при БПК очищенной воды более 20 мг/л и полной – при БПК 15-20 мг/л.

**Глубокая очистка** сточных вод может потребоваться, если в сточной воде после полной биологической очистки перед сбросом в водный объект необходимо снизить концентрацию взвешенных веществ, БПК, ХПК и др. При глубокой очистке сточных вод, главным образом, от взвешенных веществ используются фильтры различных конструкций. Для глубокой очистки от растворенных органических веществ применяют сорбционные, биосорбционные, озонаторные и другие установки. Также в качестве сооружений доочистки могут использоваться биологические пруды.

Глубокая очистка сточных вод от биогенных элементов (азота аммонийного и фосфора) может осуществляться физико-химическими и биологическими методами.

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

Допускается обеззараживание биологически очищенных вод гипохлоритом натрия, а также путем электролиза раствора NaCl. Возможно обеззараживание

сточных вод озонем, используются бактерицидные ультрафиолетовые лампы.

#### *4.2. Методы обработки осадков.*

##### **Обработка осадков.**

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

Загрязнения, задерживаемые решетками, отмывают от органических загрязнений, уплотняют и вывозят, либо сразу вывозят с территорий станций очистки. Песок из песколовков обезвоживается на песковых площадках и также вывозится или отмывается от органических загрязнений, подсушивается и используется в планировочных работах.

Осадок из первичных отстойников и уплотненный осадок из вторичных отстойников (активный ил) направляются в метантенки - герметичные резервуары, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо метантенков применяется метод анаэробной стабилизации. Также для сбраживания осадка могут применяться септики и двухъярусные отстойники.

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

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

Важное значение приобретает утилизация осадков в качестве органоминерального удобрения и белково-витаминных добавок к рационам питания сельскохозяйственных животных.

#### *4.3. 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 водного объекта, расчета необходимой степени очистки, с учётом состава поступающей на очистную станцию сточной воды, рельефа местности, характера грунтов, энергетических затрат и др.

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

Возможен вариант, что необходимый эффект очистки обеспечивается только сооружениями механической очистки (концентрация взвешенных веществ должна быть снижена на 45- 64%, а величина БПК<sub>5</sub> - на 20- 33%). Такие сооружения могут разрабатываться для поселков городского типа, имеющих водоотводящую систему и расположенных на многоводных реках, при расходе сточных вод не более 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

В технологических схемах биологической очистки применяются:

- биофильтры при расходах сточных вод до 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут, при остаточной концентрации по взвешенным веществам 15-25 мг/л, по БПК<sub>5</sub> – 15-25 мг/л.

- аэротенки - при расходах до 2-3 млн. м<sup>3</sup>/сут, при остаточной концентрации по взвешенным веществам 15-25 мг/л, по БПК<sub>5</sub> – 15 мг/л.

- доочистка применяется при требуемом эффекте очистки по взвешенным веществам и по БПК<sub>полн</sub> до 99,9%, при остаточной концентрации по взвешенным веществам 1,5-2 мг/л, по БПК<sub>5</sub> – до 4,5 мг/л.

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

Состав сооружений следует выбирать с учетом производительности станции, характера грунтов, положения уровня грунтовых вод, климатических условий района, рельефа территории площадки, наличия земельных площадей, метода использования осадка и других местных условий.

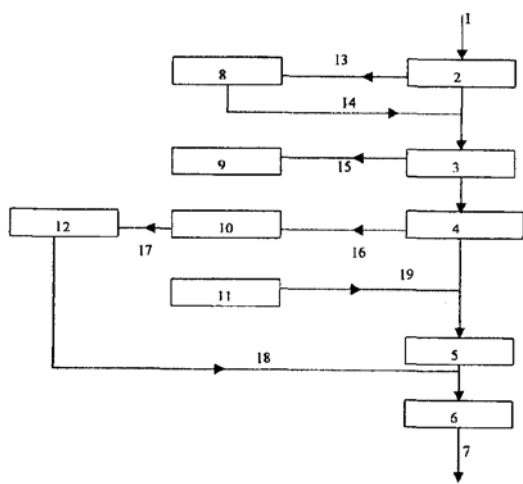


Рис. 1. - Технологическая схема очистной станции с механической очисткой сточных вод:

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

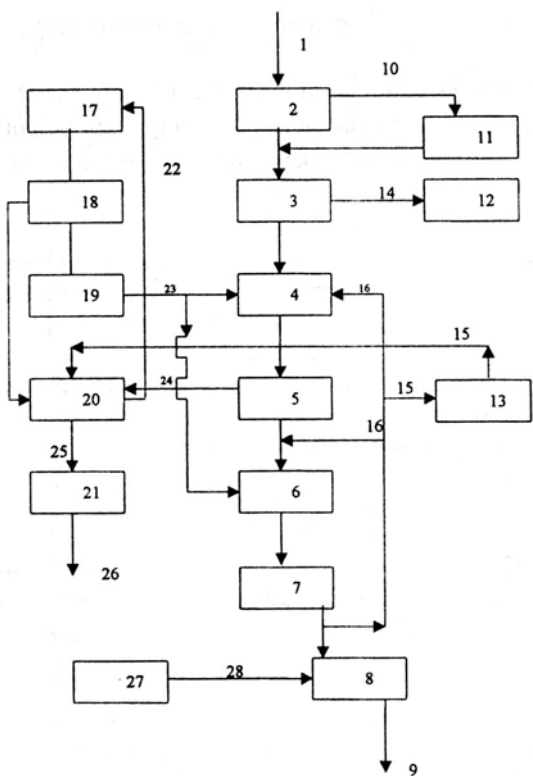


Рис. 2. - Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках:

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 - пескопульпа; 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



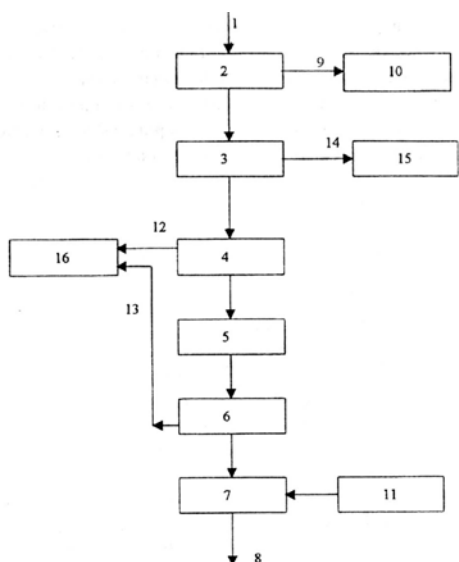


Рис. 3. Технологическая схема очистной станции с биологической очисткой сточных вод на биофильтрах:

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

## Тема 5. Механическая очистка сточных вод.

(Теоретический раздел)

### 5.1. Решетки.

[5.1.1. Стержневые решетки, их конструкции и расчет.](#)

[5.1.2. Ступенчатые решетки.](#)

[5.1.3. Расчет решеток.](#)

[5.1.4. Характеристика отбросов, снимаемых с решеток, их обработка.](#)

#### 5.1.1. Стержневые решетки, их конструкции и расчет.

Крупные плавающие отбросы (тряпье, бумага, пластик, стекло, остатки пищи, полиэтилен, перо, резина) необходимо извлекать из сточных вод на начальной стадии очистки, так как они засоряют трубы, каналы, насосы, затрудняют обработку осадка и замусоривают природные водоемы, принимающие сточные воды. Для освобождения сточных вод от крупных плавающих отбросов применяются разнообразные типы механизмов, основными из которых являются: стержневые решетки с ручной и механизированной очисткой прутьев, ступенчатые решетки, ротационные диски, ротационные барабаны, центрифуги.

Стержневые решетки выполняются из ряда металлических пластин, расположенных параллельно друг другу и создающих плоскость с прозорами, через которую процеживается сточная жидкость. Стержни закрепляются в специальных рамах, обеспечивающих жесткость всей решетки и фиксацию расстояния между стержнями. Устанавливаются решетки в уширенных каналах называемых камерами, по которым вода движется самотеком.

Классификация решеток.

По способу очистки решетки от отбросов подразделяются на решетки:

- с ручной очисткой, применяются при количестве отбросов менее  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,
- с механизированной очисткой.

По конструктивным особенностям: подвижные и неподвижные, вертикальные и наклонные (упрощается очистка). Серийно выпускаются: вертикальные - типа РММВ и наклонные - типа МГ.

Стержни решеток бывают:

- а) прямоугольной формы;
- б) прямоугольной формы с закругленной лобовой частью;
- в) круглой формы.

$S_s$  – ширина стержней решетки принимается 6-10 мм.

$b_r$  – ширина прозоров между стержнями не более - 16 мм (1, 2, 3, 6, 15 мм).

Эффективность снятия загрязнений по взвешенным веществам и БПК<sub>5</sub> на решетках с прозорами не более 6 мм следует принимать от 10 % до 15 % от исходных загрязнений сточных вод перед решетками или по паспортным данным на оборудование.

Минимальная скорость движения сточных вод в канале перед решетками должна быть не менее 0,4 м/с и после решеток – не менее 0,7 м/с.

Скорость движения сточных вод в прозорах решетки должна быть в пре-

делах 0,8-1 м/с. Для решеток ступенчатых эскалаторного типа скорость движения воды в прозорах в пределах 1-1,4 м/с.

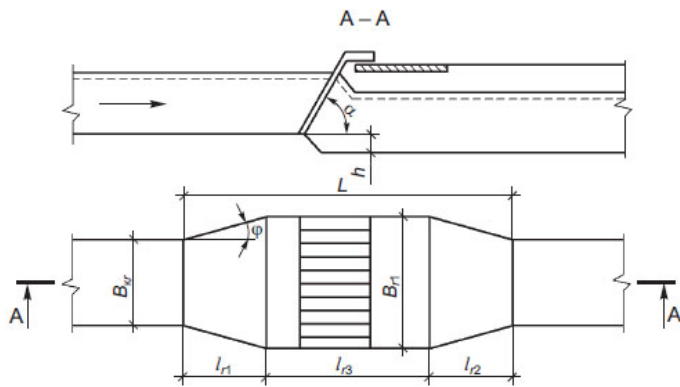


Рисунок 1 - Схема установки решетки

- $\alpha$  – угол наклона решетки ( $60^{\circ}$ );
- $\beta$  –  $20^{\circ}$ ;
- $h$  – потери напора в решетке;
- $h_r$  – глубина воды в лотке перед решетками;
- $B_{кр}$  – ширина подводящего канала;
- $B_r$  – ширина лотка в месте установки решетки;
- $l_{r1}$  – длина лотка, сопрягающего подводящий канал и камеру;
- $l_{r2}$  – длина лотка, сопрягающего камеру и отводящий лоток;
- $l_{r3}$  – длина камеры.

### 5.1.2. Ступенчатые решетки.

В настоящее время наиболее экономичными и эффективными являются ступенчатые решетки тонкой очистки с шириной прозоров 3-6 мм.

Принцип работы ступенчатых решеток состоит в процеживании сточных вод через пакеты ступенчатых пластин: неподвижных, закрепленных на раме решетки, и подвижных, совершающих плоскопараллельное вращение относительно неподвижных пластин. Прозоры между пакетами неподвижных и подвижных пластин фиксируются при помощи специальных накладок. Движение, совершаемое подвижными пластинами, приводит к тому что, задержанные отбросы поднимаются вверх с одной ступени на другую, В результате последовательных движений уловленные отбросы поднимаются до точки выгрузки и попадают на транспортер. Производительность такой решетки от 650 до 5000 м<sup>3</sup>/ч.

Работа многоступенчатой решетки осуществляется, как правило, в циклическом режиме, но она может работать и непрерывно. На рис. 2 показаны последовательные стадии движения решетки и вращения подвижных пластин.

➤ Принцип действия

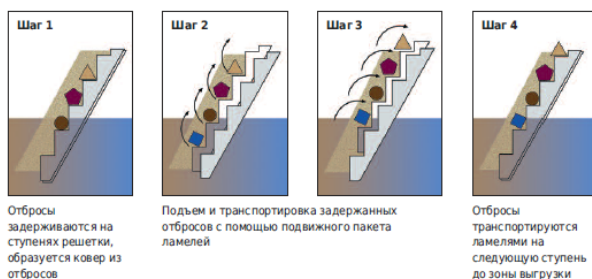


Рисунок 2 – Принцип действия ступенчатых решеток

Начало цикла очистки совпадает с достижением в канале перед решеткой верхнего рабочего уровня воды, при котором происходит срабатывание датчика уровня, подающего сигнал на включение привода решетки. Круговыми движениями подвижных пластин производится перемещение вверх задержанных отбросов (рис. 2) и очищение фильтрующей поверхности решетки, в результате чего уровень воды в канале

перед решеткой снижается и по сигналу датчика уровня происходит отключение привода.

Частота и продолжительность циклов очистки существенно зависят от расхода сточных вод и состава содержащихся в них отбросов.

Применение решеток с прозором менее 10 мм предпочтительно не только из-за более эффективного изъятия крупных плавающих отбросов, но также потому, что мелкие прозоры способствуют образованию на решетке дополнительного фильтрующего слоя из самих отбросов, что с одной стороны, повышает эффект их задержания, а с другой - позволяет плавающим жирам и нефтепродуктам осесть на эту подстилку, тем самым механически изъять их из сточных вод.

Загрязнения, осевшие на решетке, образуют дополнительный фильтрующий слой, который повышает эффект задержания отбросов, а также задерживает плавающие жиры и нефтепродукты, которые оседают на этом слое.

### 5.1.3. Расчет решеток.

Размеры решетки определяют по расходу сточных вод, по принятой ширине прозоров между стержнями ( $b_r$ ) и ширине собственно стержней ( $S_s$ ), а также по скорости протока воды через прозоры решеток. Площадь прозоров рабочей части решетки определяется расчетом, но она должна быть не менее удвоенной площади живого сечения подводящего канала при ручной очистке и не менее 1,2 живого сечения при механической очистке.

1. Общее число прозоров решетки  $n_{pr}$  по формуле:

$$n_{pr} = \frac{q_{\max}}{b_r \cdot h_r \cdot V_r} \cdot K_{sti}$$

где  $q_{\max}$  - максимальный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

$h_r$  - глубина воды перед решеткой, м;

$V_r$  - средняя скорость в прозорах решетки, рекомендуется принимать 0,8 - 1 м/с (для стержневых решеток), 1-1,4 м/с (для решеток ступенчатых эскалаторного типа);

$b_r$  - ширина прозора, м,  $b_r$  не более 0,016 м;

$K_{sti}$  - коэффициент, учитывающий стеснение потока механическими граблями, равный 1,05÷1,1.

2. Общая ширина решеток

$$B_r = S_s \cdot (n_{pr} - 1) + b_r \cdot n_{pr}$$

где  $S_s$  - толщина стержней решетки,  $S = 0,006-0,01$  м.

3. Необходимое количество решеток следует подбирать исходя из требуемой общей ширины решеток  $B_r$  и конструктивной ширины решетки  $B_{r1}$ . При количестве рабочих решеток до трех включительно следует принимать одну резервную решетку, а при количестве рабочих решеток более трех — две резервные.

4. Потери напора в решетке

$$h = \zeta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot K$$

где  $v$  - скорость движения воды в камере перед решеткой, м/с;

$K$  - коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решетки,  $K = 3$ ;

$\zeta$  - коэффициент местного сопротивления, определяется по формуле

$$\zeta = \beta \cdot \left( \frac{S_s}{b_r} \right)^{4/3} \cdot \sin \alpha$$

где  $\beta$  - коэффициент, зависящий от формы стержня, равный 2,42; 1,83; 1,79 для стержней а), б), в).

На величину потерь напора следует понизить дно камеры за решеткой.

5. Размеры камеры в плане

$$l_{r1} = 1,37 \cdot (B_{r1} - B_{kr}), \text{ м}$$

$$l_{r2} = 0,5 \cdot l_{r1}, \text{ м}$$

— для вертикальных решеток  $l_{r3} = 1,8 \cdot B_{kr}, \text{ м}$

— для наклонных решеток  $l_{r3} = 1,8 \cdot B_{kr} + \frac{h_r}{\text{tg} \alpha}, \text{ м}$

Данная величина должна быть больше или равна длине решетки по конструктивным характеристикам.

Общая строительная длина камеры составит

$$L = l_{r1} + l_{r2} + l_{r3}, \text{ м}$$

6. Суточный объем отбросов, снимаемый с решеток, определяем по формуле:

$$W = \frac{q_{ot} \cdot N_{пр}}{365 \cdot 1000}, \text{ м}^3 / \text{сут}$$

где  $q_{ot}$  - объем отбросов, приходящиеся на одного человека в год, л/(чел·год), принимается по табл. 10.4 СН 4.01-02-2019 в зависимости от ширины прозоров.

$N_{пр}$  - приведенное население по взвешенным веществам.

Масса отбросов, снимаемых с решеток за сутки:

$$P = \frac{W \cdot \rho}{1000}, \text{ т}$$

где  $\rho$  - плотность отбросов, кг/м<sup>3</sup>, принимается 870 - до обезвоживания, 690 - после обезвоживания.

#### 5.1.4. Характеристика отбросов, снимаемых с решеток, их обработка.

Объем отбросов, приходящиеся на одного человека в год, л/(чел·год), принимается по табл. 10.4 СН 4.01-02-2019 в зависимости от ширины прозоров:

Ширина прозоров, мм	0,5	1	2	3	6	15
Объем отбросов, л/(чел·год)	45	34	26	22	16	10

Зольность - 7-8%; влажность отбросов 90% - до обезвоживания, 70% - после обезвоживания; плотность принимается 870 кг/м<sup>3</sup> - до обезвоживания, 690

кг/м<sup>3</sup> – после обезвоживания.

В здании решеток, при необходимости, допускается установка оборудования для предварительного отжима влаги из задержанных отбросов и их уплотнения (поршневые и шнековые гидропрессы).

Задержанные отбросы допускается:

- собирать в контейнеры с герметичными крышками и вывозить в места обработки твердых и промышленных отходов;
- обезвоживать и направлять для совместной обработки с осадками на станции очистки сточных вод.

Задержанные на решетках отбросы обычно собираются в контейнеры, дезинфицируются известью и по мере накопления вывозятся (срок хранения отбросов на сооружениях не должен превышать 3 дней).

Экономически целесообразно применять механическое обезвоживание отбросов прессованием с помощью гидро- или механических прессов, так как объем отбросов уменьшается при этом в 3-6 раз и значительно сокращаются транспортные расходы.

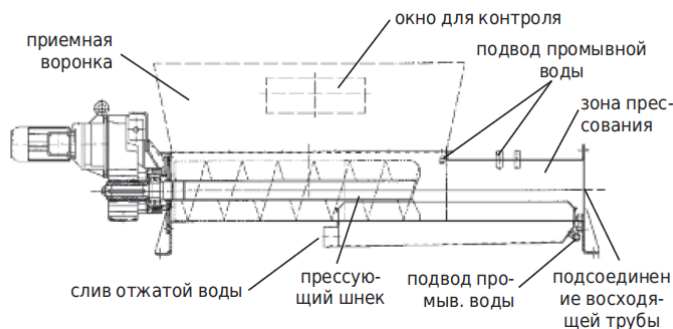


Рисунок 3 - Мочный пресс для отбросов

Подлежащая переработке масса поступает в зону загрузки промывочного пресса непосредственно от фильтрующего решета или от промежуточного винтового конвейера.

Часть спирали шнека, расположенная в зоне загрузки, выполняет транспортирующую функцию и подает обрабатываемую массу в зону промывки. В этой зоне за счет специальной формы спирали материал подвергается смятию, вследствие чего органические вещества становятся легкоотделяемыми.

Через пустотелый вал шнека в зону промывки подается вода, которая размывает органическую составляющую и выносит её из обрабатываемой массы. За счет подачи дополнительного потока воды сверху интенсифицируется смыв загрязняющей фракции через щелевое днище зоны промывки.

Промытая масса окончательно обезвоживается и уплотняется в прессовой зоне.

## **5.2. Песколовки.**

### 5.2.1. Назначение песколовков и их классификация.

### 5.2.2. Горизонтальные песколовки, их конструкции и расчет.

### 5.2.3. Аэрируемые песколовки.

### 5.2.4. Тангенциальные песколовки.

### 5.2.5. Удаление осадка из песколовков, песковые площадки и бункера.

#### *5.2.1. Назначение песколовков и их классификация.*

Сточные воды, освобожденные от крупных плавающих отбросов; на решетках, поступают в песколовки, назначение которых освободить, сточные воды от тяжелых примесей минерального происхождения с размером частиц 0,09-0,5 мм и более. Песколовки удаляют частицы гравия, песка, костей, угля, шлака, бетона и т.п.

Задача песколовков состоит не только в удалении минеральных примесей, включая мелкие фракции (0,15 мм и менее), но также в том, чтобы удалить практически чистый песок без органических примесей, накапливающихся на нем.

По требованию СН 4.01.02-2019 песколовки устанавливаются обязательно, если объем очищаемых сточных вод более 100 м<sup>3</sup>/сут.

По направлению движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные (с горизонтальным прямоточным и круговым движением воды), вертикальные (вода подается снизу и направляется вверх) и с водоворотным движением воды (тангенциальные и аэрируемые).

Принцип действия песколовки гравитационный, т.е. минеральные частицы, удельная масса которых больше удельной массы воды (1,6 г/см<sup>3</sup>), главным образом песок, выпадают на дно.

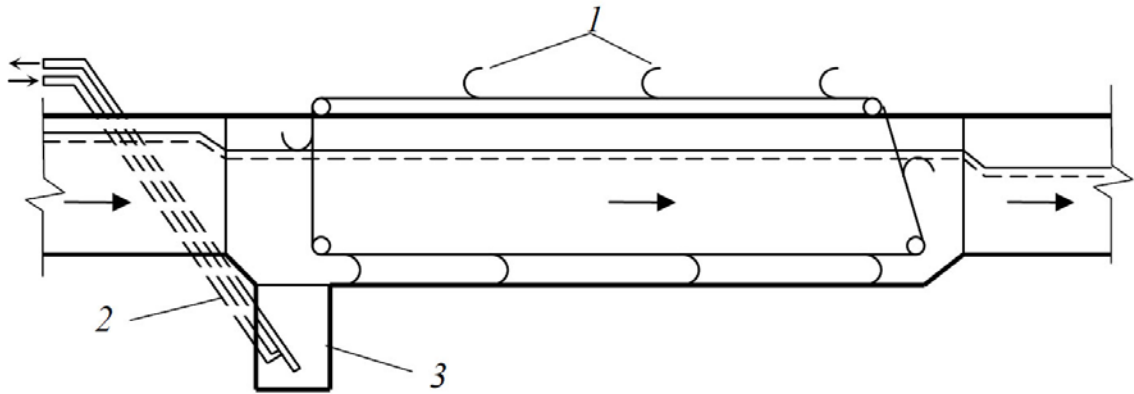
В песколовках скорость движения воды должна находиться в определенных пределах от 0,15 до 0,3 м/с для горизонтальных и от 0,08 до 0,12 м/с для аэрируемых песколовков.

Для обеспечения указанных скоростей движения сточных вод при минимальном и максимальном притоке необходимо устанавливать не менее двух песколовков или одна песколовка должна быть разделена на несколько отделений, но не менее двух.

Для поддержания постоянства необходимой скорости потока сточных вод в песколовке в условиях резко меняющегося объема поступающих в течение суток сточных вод предусматривается на выпуске водослив с широким порогом, благодаря которым сохраняется постоянная скорость потока.

#### *5.2.2. Горизонтальные песколовки, их конструкции и расчет.*

Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды (рис. 1) представляют собой прямоугольные в плане резервуары, выполненные из бетона или железобетона. Рекомендуется применять при производительности более 10000 м<sup>3</sup>/сут.



**Рисунок 1 - Горизонтальная песколовка**  
 1 – цепной скребковый механизм; 2 – гидрозелеватор; 3 – бункер

Расчет песколовки.

1. Площадь живого сечения каждого отделения песколовки определяем по формуле

$$\omega = \frac{q_{\text{макс}}}{V_s \cdot n}, \text{ м}^2$$

где  $q_{\text{макс}}$  – максимальный расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V_s$  – скорость движения воды в песколовке,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$n$  – количество рабочих отделений, минимум 2.

2. Принимаем глубину проточной части  $H_s = 0,5\text{-}2$  м.

3. Ширина отделений

$$B = \frac{\omega}{H_s}, \text{ м.}$$

4. Длину песколовки определяем по формуле

$$L_s = \frac{K_s \cdot H_s \cdot V_s}{U_0}, \text{ м}$$

где  $K_s$  – коэффициент, определяемый для горизонтальных песколовки по формуле:

$$K_s = \frac{U_0}{\sqrt{U_0^2 - \omega^2}};$$

где  $U_0$  – гидравлическая крупность песка,  $\text{м}/\text{с}$ , принимается по нормативным данным в зависимости от требуемого диаметра задерживаемых частиц песка (при диаметре задерживаемых частиц 0,05-0,2 мм).

$\omega$  — вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости,  $\text{м}/\text{с}$ , определяемая по формуле

$$\omega = 0,05 \cdot V_0, \text{ м / с}$$

где  $V_0$  — продольная скорость движения воды,  $\text{м}/\text{с}$ , в песколовках, принимаемая по нормативным данным в зависимости от требуемого диаметра задерживаемых частиц песка.

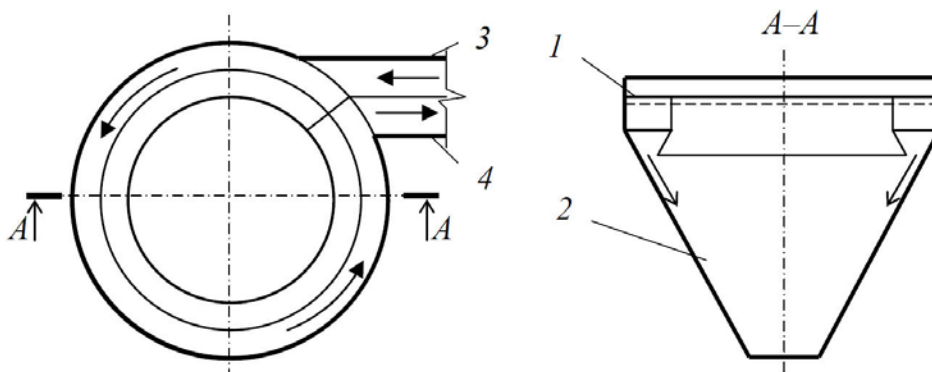
5. Продолжительность протока сточных вод в песколовке должна быть не менее 30 с при максимальном притоке



$$T = \frac{L_s}{v_s}, \text{ с.}$$

6. Количество песка, задерживаемого песколовками, составляет обычно  $0,02 \text{ дм}^3/(\text{чел} \cdot \text{сут})$  при влажности 60 % и объемной массе  $1,5 \text{ т/м}^3$ , содержание песка в осадке 55-60%.

Горизонтальные песколовки с круговым движением воды (рис. 2) применяются на станциях с расходом сточных вод до  $70000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , представляют собой круглые в плане резервуары.



**Рисунок 2 - Горизонтальная песколовка с круговым движением воды**

1 – кольцевой желоб; 2 – осадочный конус; 3 – подводящий канал; 4 – отводящий канал

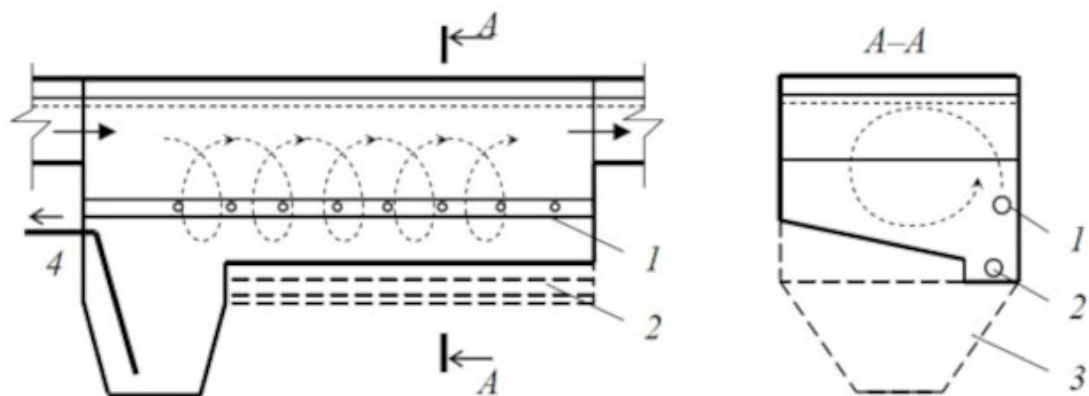
Проточная часть песколовки в поперечном сечении имеет в верхней части прямоугольную форму, а в основании – треугольную со щелью внизу. Их особенностью является создание кругового движения потока воды для поддержания органических примесей в потоке без осаждения. Песок «сползает» через отверстия желоба в центрально расположенный бункер, имеющий коническую форму. Для выгрузки осадка достаточно установки гидроэлеватора или погружного насоса.

Расчет ведется аналогично песколовки с прямолинейным движением воды, но длина принимается по средней линии кругового лотка.

### 5.2.3. Аэрируемые песколовки.

В песколовках с циркулирующими потоками воды (тангенциальные, аэрируемые и т.п.) более эффективно отделяются от воды и осаждаются мелкие фракции песка (а также при этом освобождаются от связанных с ними органических частиц). Органические примеси поддерживаются во взвешенном состоянии и в осадок не выпадают. Благодаря создаваемым эффектам водоворотов выделяется практически чистый песок мелких фракций (включая  $0,15 \text{ мм}$ ) с влажностью осадка из песколовки не более 20 %, и высокой зольностью (не менее 95 %). Содержание песка в осадке из таких песколовки доходит до 92 %.

Аэрируемые песколовки (рис. 3) применяются на станциях с расходом сточных вод более  $20000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , представляют собой горизонтальные песколовки с установленными у одной из продольных стен аэраторами обычно на глубине  $0,4-0,6 \text{ м}$  от дна песколовки.



**Рисунок 3 - Схема аэрируемой песколовки**  
 1 – дырчатый аэратор; 2 – трубопровод гидросмыва осадка;  
 3 – осадочная часть; 4 – гидрозлеватор

Оптимальная высота расположения аэраторов от дна должна составлять примерно 1/3 от рабочей глубины песколовки, так как при этом создаются максимальные скорости вращения песчинок, способствующие эффективной отмывке песка от органических частиц. В то же время, осевший на дно песок не взмучивается.

Оптимальное отношение ширины к глубине аэрируемой песколовки должно составлять 1:1. Аэрационные элементы - трубы диаметром 50 мм с отверстиями диаметром от 3 до 6 мм - расположены на верхней поверхности трубы так, чтобы обеспечить направление движения поступающего воздуха вертикально вверх. Расстояние между отверстиями 100-200 мм, но не более 250 мм. Интенсивность аэрации должна находиться в диапазоне от 3 до 5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>· час.

#### 5.2.4. Тангенциальные песколовки.

Имеют круглую форму в плане, рекомендуется применять при производительностях до 50000 м<sup>3</sup>/сут. В тангенциальных песколовках (рис. 4) вода подается по касательной, что обеспечивает вращательное движение. Оно способствует поддержанию в потоке органических примесей, при этом скорость вращательного движения невелика и не препятствует выпадению песка в осадок.

Особенностью является малая глубина их проточной части – 0,5 м. Диаметр песколовки принимается не более 6 м. При скорости течения в тангенциальной песколовке 0,6 - 0,8 м/с задерживается около 90% песка. Время нахождения в ней сточных вод 30-50 с. При удовлетворительной работе песколовки удаляется песок разных фракций: 0,4-0,3 мм на 95 %, 0,24 мм на 85 % и 0,15 мм на 65 %. Основным недостатком тангенциальных песколовки заключается в том, что они очень чувствительны к неравномерности притока сточных вод.

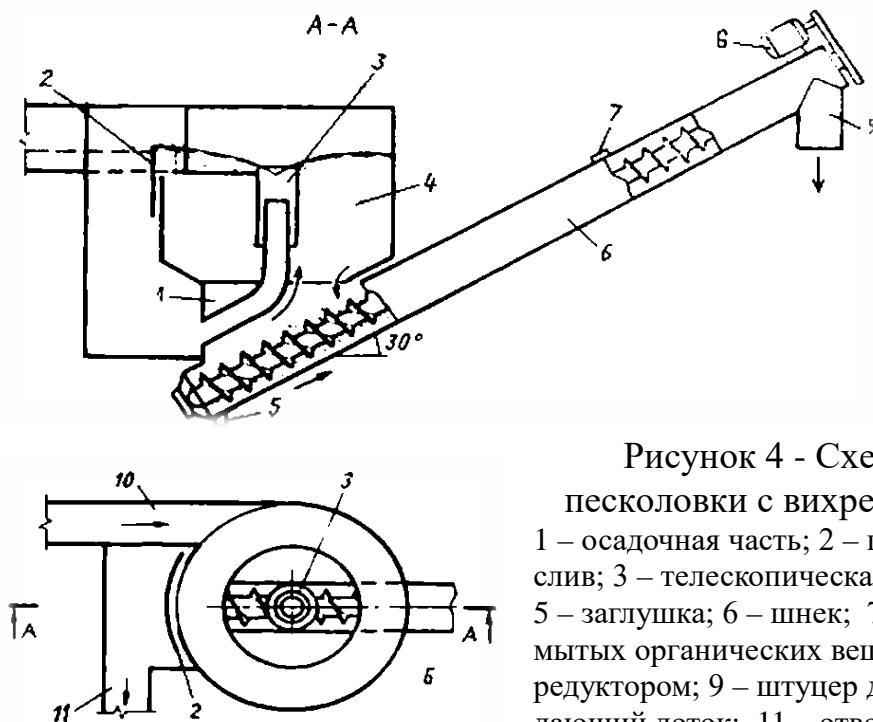


Рисунок 4 - Схема тангенциальной песколовки с вихревой водяной воронкой. 1 – осадочная часть; 2 – подвижный боковой водослив; 3 – телескопическая труба; 4 – рабочая часть; 5 – заглушка; 6 – шнек; 7 – отверстие для сброса отмытых органических веществ; 8 – электродвигатель с редуктором; 9 – штуцер для отвода песка; 10 – подающий лоток; 11 – отводящий лоток

#### 5.2.5. Удаление осадка из песколовок, песковые площадки и бункера.

Независимо от конструкции песколовка состоит из 2-х частей: рабочей, где движется поток сточных вод и осадочной, в которой собирается песок, предназначенный для удаления. Осевший на дно песколовки песок сдвигается самопроизвольно за счет уклона дна или при помощи гидросмыва или скребками к бункеру, объем которого принимается равным 2-суточному объему осаждающегося песка. Выгрузка осадка из песколовки производится от одного раза в 2-3 суток до одного раза в сутки в зависимости от поступления и накопления песка.

Количество песка, задерживаемого песколовками, составляет обычно  $0,02 \text{ дм}^3/(\text{чел.сут})$  или  $7,3 \text{ дм}^3$  на одного человека в год при влажности 60 % и объемной массе  $1,5 \text{ т/м}^3$ .

При количестве улавливаемого в песколовках песка более  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$  удаление осадка механизмуется при помощи гидроэлеваторов, грейферов, ковшевых элеваторов, песковых насосов и т.п.

Для сгребания осадка к прямку песколовок используются скребковые механизмы цепного и тележечного типа, а также гидросмыв.

Песковые площадки представляют собой спланированные земельные площади, устраивают с ограждающими валиками высотой 1-2 м. Рассчитывают из условия нагрузки  $3 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ . Высота слоя песка в накопителе до 3 м/год. Песок используется в строительстве дорог, при планировании площадок.

Для отмыва осадка от органических загрязняющих веществ применяют гидроциклоны и бункеры для накопления и обезвоживания песка. Песок из песколовки с помощью гидроэлеватора транспортируется в гидроциклон, где обезвоживается, а затем поступает в бункер для хранения. Бункеры должны быть приспособлены к погрузке в грузовые автомобили и рассчитаны на 1,5-9-ти суточное хранение в них песка. Располагаются вне зданий.

### **5.3. Отстойники**

#### [5.3.1. Назначение и классификация отстойников](#)

#### [5.3.2. Процесс отстаивания сточных вод](#)

#### [5.3.3. Горизонтальные отстойники](#)

#### [5.3.4. Радиальные отстойники](#)

#### [5.3.5. Вертикальные отстойники](#)

#### [5.3.6. Тонкослойные отстойники](#)

#### [5.3.7. Расчет отстойников](#)

#### *5.3.1. Назначение и классификация отстойников*

Отстаивание является наиболее простым и часто применяемым в практике способом выделения из сточных вод грубодисперсных примесей, которые под действием силы тяжести оседают на дно отстойника или всплывают на поверхность.

Применяют как основное сооружение механической очистки сточных вод. Предназначены для выделения из сточных вод нерастворимых взвешенных грубодисперсных примесей преимущественно органического происхождения.

В зависимости от требований к очистке сточных вод отстаивание может производиться как предварительное перед биологической или физико-химической очистки сточных вод, так и как окончательный способ очистки.

Классификация отстойников.

1. По назначению в технологической схеме: первичные, вторичные и третичные.

2. По режиму действия: отстойники периодического действия (контактные) – отстаивание происходит в покое, отстойники непрерывного действия (проточные) – отстаивание происходит при медленном движении жидкости. Преимущественно используются непрерывного действия.

3. По направлению движения потока воды: вертикальные, горизонтальные. Разновидность горизонтальных – радиальные.

Содержание взвешенных веществ, выделяемых первичными отстойниками, зависит от начального содержания и от характера этих примесей (формы и размера их частиц, плотности, скорости их осаждения), а также от продолжительности их отстаивания. Основная масса взвешенных веществ выпадает в осадок в течении 1,5-2 часов.

Концентрация взвешенных веществ в осветленных сточных водах после отстойников, подаваемых на сооружения биологической очистки с целью полной или частичной очистки от веществ, подверженных биохимической деструкции, не должна превышать  $150 \text{ мг/дм}^3$  в осветленных сточных водах. Концентрацию взвешенных веществ в сточной воде, подаваемой на сооружения биологической очистки с удалением азота и фосфора, со стабилизацией ила, следует определять в соответствии с технологическими требованиями процесса биологической очистки.

Тип отстойника (вертикальный, радиальный, горизонтальный, двухъярусный и др.) следует выбирать с учетом принятой технологической схемы очист-

ки сточных вод и обработки их осадка, производительности станции, очередности строительства, количества эксплуатируемых единиц, конфигурации и рельефа площадки, геологических условий, уровня грунтовых вод и т. п.

Рекомендуется применять:

— горизонтальные отстойники на станциях очистки сточных вод производительностью более 15000 м<sup>3</sup>/сут;

— вертикальные отстойники на станциях очистки сточных вод производительностью до 20000 м<sup>3</sup>/сут, при низком уровне грунтовых вод;

— радиальные отстойники на станциях очистки сточных вод производительностью более 20000 м<sup>3</sup>/сут;

— двухъярусные отстойники на станциях очистки сточных вод производительностью до 20000 м<sup>3</sup>/сут.

### 5.3.2. Процесс отстаивания сточных вод

Основным уравнением скорости осаждения взвешенных частиц в воде при числе Рейнольдса  $Re < 2$  является формула Стокса

$$U_0 = \frac{d^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})g}{18 \cdot \eta}$$

где  $U_0$  – гидравлическая крупность частицы, м/с;

$d$  – диаметр шарообразной частицы, м;

$\rho_{\text{ч}}$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – динамическая вязкость воды, Па·с;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Это эмпирическая формула, имеющая определенный диапазон применения. Формула Стокса верна при следующих допущениях:

- частицы должны иметь форму шара;

- процесс осаждения должен происходить в монодисперсной, агрегативно-устойчивой системе, когда частицы имеют одинаковые размеры и при осаждении не меняют свои формы и размеры.

При отстаивании сточных вод процесс происходит в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения конгломерируются. Вследствие этого скорость осаждения изменяется.

Исходя из этого, кинетику процесса осаждения или всплывания грубодисперсных примесей сточных вод устанавливают опытным путем в лабораториях в цилиндрах при высоте слоя жидкости  $h=500$  мм (принимается за эталон).

Для агрегативно-устойчивых частиц принимается простое соотношение, позволяющее пересчитать время  $T$ , необходимое для получения заданного эффекта очистки в отстойниках, по результатам лабораторных исследований в цилиндрах эталонной высоты при продолжительности  $t$ :

$$T/H = t/h \text{ при } \Xi = \text{const}$$

где  $H$  – высота воды в отстойнике, м;

$h$  – высота воды в цилиндре, м.

Для агломерирующих взвешенных веществ, преобладающих в сточных водах, данная зависимость будет не прямолинейна, а примет следующий вид:

$$T = t \left( \frac{H}{h} \right)^n$$

где  $n$  – показатель степени, отражающий влияние агломерации.

### 5.3.3. Горизонтальные отстойники

Горизонтальные отстойники рекомендуется применять на станциях очистки сточных вод производительностью более  $15000 \text{ м}^3/\text{сут}$

Представляет собой прямоугольный в плане резервуар, разделенный на несколько отделений, число отделений не менее двух. Поток осветляемой воды, распределяемый по ширине сооружения с помощью лотка с впускными отверстиями, движется горизонтально в направлении водослива сборного канала, расположенного с противоположного торца отстойника.

Выпадающий по длине отстойника осадок перемещается скребком в расположенные на входе в сооружение иловые приемки, откуда под гидростатическим напором выгружается в самотечный трубопровод с последующим его отводом на перекачивающую насосную станцию. Всплывающие жировые вещества собираются в конце сооружения в жиросборный лоток, из которого также самотеком отводятся на перекачку.

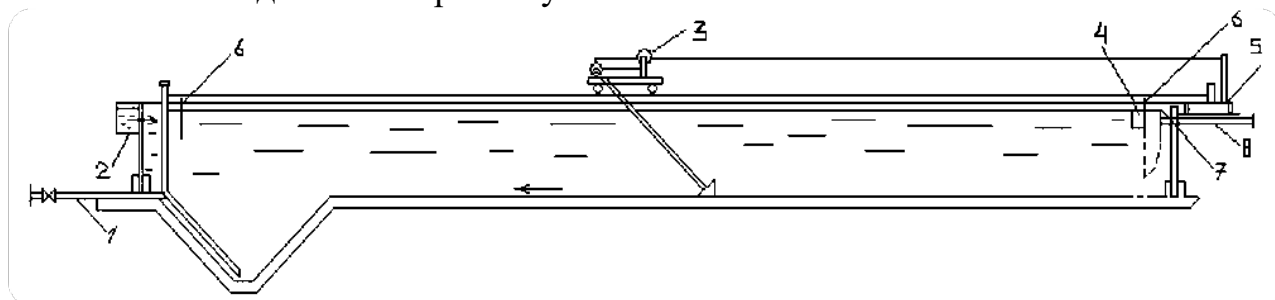


Рисунок 1 - Схема первичного горизонтального отстойника

- 1 – трубопровод для удаления сырого осадка и опорожнения;  
 2 – подводящий лоток; 3 – скребковая тележка;  
 4 – лоток для сбора плавающих веществ;  
 5 – фронтальная тележка; 6 – полупогружные доски;  
 7 – сборный лоток; 8 – трубопровод для удаления плавающих веществ.

#### Основные конструктивные параметры:

Глубина проточной части от 1,5 до 4 м.

Ширина отделения отстойника 6, 9 м.

Уклон днища к приемку 0,005.

Высота нейтрального слоя над слоем осадка 0,3 м.

Угол наклона стенок илового приемка — от  $50^\circ$  до  $55^\circ$ .

#### Достоинства:

- малая глубина;
- относительно высокий коэффициент использования объема;
- эффект очистки по взвешенным веществам 50-60%;
- возможность использования одного скребящего устройства для не-

скольких отделений;

- возможность блокирования с аэротенками.

Недостатки:

- сложность эксплуатации в них скребковых механизмов;
- большая их материалоемкость по сравнению с круглыми в плане;
- необходимость применения большего числа отстойников вследствие ограниченной ширины.

#### 5.3.4. Радиальные отстойники

Применяются при производительности станции более 20 000 м<sup>3</sup>/сут. Представляют собой круглые в плане резервуары, в которых вода подается в центр отстойника и движется радиально от центра к периферии. Скорость движения осветляемой воды изменяется от максимальных значений в центре до минимальных на периферии радиального отстойника.

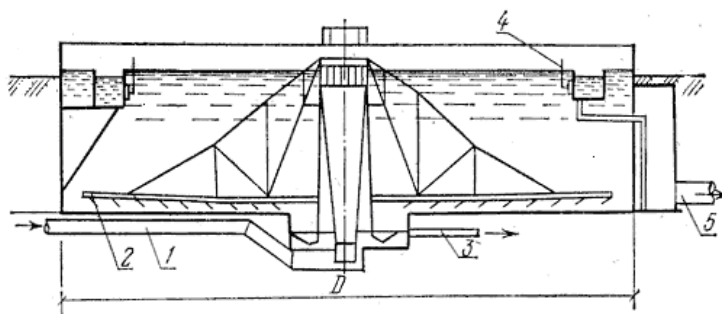


Рисунок 2 - Схема первичного радиального отстойника

- 1 - подводящий трубопровод; 2 - скребковое устройство; 3 – трубопровод сырого осадка; 4 - полупогруженные доски; 5 - отводящий трубопровод.

Радиальный отстойник представляет собой круглый в плане резервуар (рис. 2). Сточная вода подается в центр отстойника снизу вверх и движется радиально от центра к периферии. Особенностью гидравлического режима работы радиального отстойника является то, что скорость движения воды изменяется от максимального его значения в центре отстойника до минимального у периферии. Плавающие вещества удаляются с поверхности воды в отстойнике подвесным устройством, размещенным на вращающейся ферме, и поступают в приемный бункер или в сборный лоток.

Выпадающий осадок с помощью скребков, укрепленных на подвижной ферме, сдвигается в приямок отстойника. Частота вращения подвижной фермы 2—3 ч<sup>-1</sup>; вращение осуществляется с помощью периферийного привода с тележкой на пневмомашине. Осадок удаляется по трубопроводу с помощью плунжерных и центробежных насосов, установленных рядом насосной станции. Всплывающие вещества отводятся в жиросборник.

Осветленная вода поступает в круговой сборный лоток через один или через оба его борта, являющихся водосливами. В целях обеспечения более надежного выравнивания скорости движения воды на выходе из отстойника водосливы сборных лотков выполняют зубчатыми.

Основные конструктивные параметры радиальных отстойников:

Глубина проточной части от 1,5 до 5 м.

Диаметр принимается не менее 18 м.

Высота бортов отстойника над поверхностью воды 0,3.

Высота нейтрального слоя над слоем осадка 0,3 м.

Достоинства:

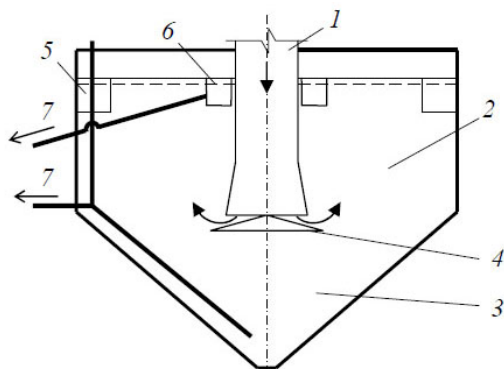
- малая глубина – удешевляет стоимость;
- малая материалоемкость, вследствие малой толщины стеновых панелей из-за использования высокопрочной предварительно напряженной арматуры.

Недостатки:

- низкий коэффициент использования объема;
- низкий эффект осветления по сравнению с горизонтальными отстойниками (до 50-55%).

### 5.3.5. Вертикальные отстойники

Применяются при производительности до 20000 м<sup>3</sup>/сут. Они представляют собой, как правило, вертикальные цилиндрические резервуары с коническим днищем (рис. 3). Разработаны типовые проекты на вертикальные отстойники диаметром 4, 6, 9 м. Разработаны несколько разновидностей вертикальных отстойников, которые отличаются друг от друга конструкцией впускных и выпускных устройств.



- 1 – центральная труба; 2 – зона отстаивания;  
3 – осадочная часть; 4 – отражательный щит;  
5 – периферийный сборный лоток; 6 – кольцевой лоток; 7 – удаление осадка

Рисунок 3 - Схема вертикального отстойника с центральной трубой

Сточная вода подводится к центральной трубе и спускается по ней вниз. При выходе из нижней части центральной трубы она меняет направление движения и медленно поднимается вверх к сливному желобу. При этом из сточной воды выпадают грубодисперсные примеси, плотность которых больше плотности сточной воды. Для лучшего распределения во-

ды по всему сечению отстойника и предотвращения взмучивания осадка опускающейся водой центральную трубу делают с раструбом, ниже которого устанавливают отражательный щит.

Уровень воды в отстойнике определяется гребнем переливного (сборного) желоба, в который поступает отстоенная вода. Отсюда она направляется на последующую очистку. Взвешенные вещества, выделившиеся из сточной воды, образуют осадок, скапливающийся в иловой части отстойника, вместимость которой рассчитывают на двухсуточный объем осадка.

Осадок из вертикальных отстойников удаляют под действием гидростатического давления через иловую трубу диаметром 200 мм, выпуск которой расположен на 1,5—2 м ниже уровня воды в отстойнике. Влажность осадка 95%.

Основные конструктивные параметры вертикальных отстойников:

- 1) Глубина проточной части от 2,7 до 3,8 м;



- 2) длина центральной трубы — равная глубине зоны отстаивания;
- 3) диаметр раструба — 1,35 диаметра трубы;
- 4) диаметр отражательного щита — 1,3 диаметра раструба;
- 5) угол конусности отражательного щита —  $146^\circ$ ;
- 6) высота нейтрального слоя между низом отражательного щита и уровнем осадка — 0,3 м;
- 7) угол наклона конического днища — от  $50^\circ$  до  $60^\circ$ .

#### Достоинства:

- удобство удаления осадка;
- простота конструкции из-за отсутствия движущихся частей;
- занимают меньшую площадь;
- возможность блокирования с аэротенками прямоугольных в плане отстойников.

#### Недостатки:

- низкий коэффициент использования объема (0,35);
- низкий эффект очистки (не более 40%);
- плохое сползание осадка к центру днища отстойника;
- большая глубина, повышает стоимость строительства;
- ограниченная пропускная способность (диаметр не более 9 м).

#### 5.3.6. Тонкослойные отстойники

Данные отстойники можно устраивать самостоятельно, а можно существующие отстойники переоборудовать в тонкослойные.

Отстойная зона оборудуется параллельно расположенными пластинами, образующие полочные секции, или трубчатыми элементами, которые делят отстойную зону на ряд неглубоких слоев (до 15 см).

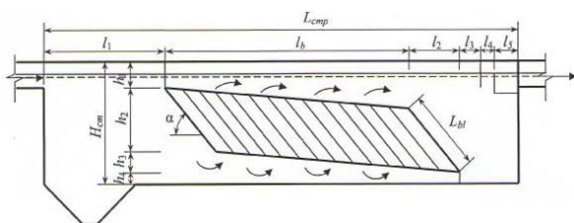


Рисунок 4 - Тонкослойный отстойник с противоточной схемой работы

При обычном традиционном отстаивании критерий Рейнольдса для открытых потоков  $Re > 500$ , т.е. в открытом потоке жидкости происходят турбулентные пульсации, которые затрудняют осаждение взвешенных частиц. Уменьшение высоты отстаивания обеспечивает снижение турбулентности, т.е.  $Re \leq 500$ , вследствие чего повышается коэффициент использования объема и уменьшается продолжительность отстаивания (до нескольких минут). Реконструкция обычных отстойников в тонкослойные позволяет повысить их производительность в 2 - 4 раза.

Основные схемы взаимного движения воды и выделенного осадка следующие:

- перекрестная схема — когда выделенный осадок движется перпендикулярно движению рабочего потока жидкости;
- противоточная схема — выделенный осадок удаляется в направлении,

противоположном движению рабочего потока;

- прямоточная схема — направление движения осадка совпадает с направлением водного потока.

Наиболее рациональной конструкцией тонкослойного отстойника следует считать отстойник с противоточной схемой движения фаз.

Тонкополочные отстойники следует применять для очистки сточных вод, содержащих в основном оседающие примеси. Благодаря движению воды в наклонных секциях снизу вверх создаются благоприятные условия для осаждения взвешенных веществ по более короткой траектории.

Недостатки:

- не подобраны неразрушающиеся гидравлическими потоками материалы;
- не решена проблема с биообрастанием устанавливаемых модулей, что ограничивает сроки удовлетворительной эксплуатации конструкций (в результате обрастания процесс гравитационного отстаивания резко ухудшается);
- засорение модулей, а очистка затруднена.

### 5.3.7. Расчет отстойников

Расчет отстойников следует производить по кинетике осаждения взвешенных веществ с учетом требуемого эффекта осветления и коэффициента использования объема сооружения.

1. Эффект осветления сточных вод в отстойниках:

$$\mathcal{E} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{C_{en}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где  $C_{en}$  — концентрация взвешенных веществ в поступающей воде, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{ex}$  — концентрация взвешенных веществ в сточной воде после отстойника, мг/дм<sup>3</sup>.

2. Гидравлическая крупность задерживаемых частиц:

$$U_0 = \frac{1000 \cdot H_{set} \cdot K_{set}}{t_{set} \cdot \left( \frac{H_{set} \cdot K_{set}}{h_1} \right)^{n_2}}, \text{ мм / с} \quad (2)$$

где  $H_{set}$  — глубина проточной части в отстойнике, м (по нормативным документам);

$K_{set}$  — коэффициент объемного использования отстойника (по нормативным документам);

$t_{set}$  — продолжительность отстаивания, с, соответствующая заданному эффекту очистки и полученная в лабораторном цилиндре в слое  $h_1=0,5$  м, (по нормативным документам);

$n_2$  — показатель степени, зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения, (по нормативным документам);

3. Для радиальных и вертикальных отстойников.

3.1. Производительность одного отстойника:

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot (U_0 - V_{tb}), \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (3)$$

где  $D_{set}$  — диаметр одного отстойника, м (принимается по типовым проектам

отстойников);

$d_{en}$  - диаметр впускного устройства, м (принимается по типовым проектам отстойников);

$V_{tb}$  – турбулентная составляющая, принимаемая в зависимости от скорости потока в отстойнике  $V_w$ , мм/с, (по нормативным документам);

4. Для горизонтальных отстойников.

4.1. Общая длина отстойника:

$$L_{set} = \frac{V_w \cdot H_{set}}{K_{set} \cdot (U_0 - V_{tb})}, \text{ м} \quad (4)$$

где  $V_w$  – скорость рабочего потока, мм/с  $V_w=5 - 10$  мм/с,

$V_{tb}$  – турбулентная составляющая, принимаемая в зависимости от скорости потока в отстойнике, по нормативным документам);

$L_{set}$  округляется до целой величины.

4.2. Производительность одного отстойника:

$$q_{set} = 3,6 \cdot K_{set} \cdot L_{set} \cdot B_{set} \cdot (U_0 - V_{tb}), \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (5)$$

где  $B_{set}$  - ширина отстойника, м, принимается  $B_{set} = 6, 9$  м (по типовым проектам).

5. Количество отстойников:

$$N = \frac{q_{max}}{q_{set}}, \text{ шт} \quad (6)$$

Число первичных отстойников следует принимать не менее двух, при условии, что все отстойники являются рабочими.

6. Расход осадка из первичных отстойников определяется по формуле:

$$Q_{mud} = \frac{q_w \cdot (C_{en} - C_{ex})}{(100 - p_{mud}) \cdot \gamma_{mud} \cdot 10^4}, \text{ м}^3 / \text{час} \quad (7)$$

где  $q_w$  – средний расход сточных вод, м<sup>3</sup>/час;

$p_{mud}$  – влажность осадка, % (при самотечном удалении  $p_{mud}=95\%$ , при удалении насосами  $p_{mud}=93,5-94\%$ ;

$\gamma_{mud}$  - плотность осадка, т/м<sup>3</sup> (принимается 1 т/м<sup>3</sup>).

## Тема 6. Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (аэротенки).

(Теоретический раздел)

[6.1. Биохимические основы технологических процессов очистки сточных вод методами аэрации.](#)

[6.2. Анализ процессов биохимической очистки сточных вод в аэротенках.](#)

[6.3. Физико-химическая, химическая и микробиологическая характеристики активного ила.](#)

[6.4. Классификация аэротенков по гидродинамическому режиму.](#)

[6.5. Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках.](#)

[6.6. Конструкции коридорных аэротенков и совмещенных сооружений.](#)

[6.7. Системы аэрации и типы аэраторов.](#)

*6.1. Биохимические основы технологических процессов очистки сточных вод методами аэрации.*

Биологические методы очистки сточных вод основываются на способности микроорганизмов использовать разнообразные вещества, содержащиеся в сточных водах, в качестве источника питания в процессе жизнедеятельности. Таким образом, искусственно культивируемые микроорганизмы освобождают воду от загрязнений, а метаболизм этих загрязнений в клетках микроорганизмов обеспечивает их энергетические потребности, прирост биомассы и восстановление распавшихся веществ клетки.

Микроорганизмы, как известно, обладают целым рядом особых свойств, из которых следует выделить три основных, широко используемых для целей очистки:

1. Способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования.

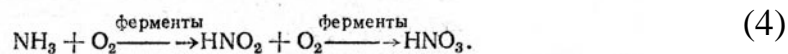
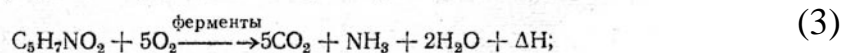
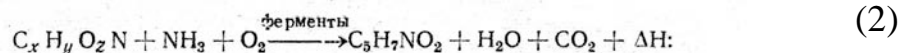
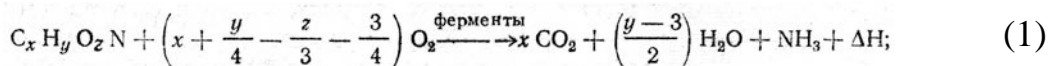
2. Во-вторых, это свойство быстро размножаться.

3. Способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после завершения процессов изъятия содержащихся в ней загрязнений.

В живой микробиальной клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса - распад молекул (катаболизм) и их синтез (анаболизм), составляющие в целом процесс обмена веществ - метаболизм. Источником питания для гетеротрофных микроорганизмов являются углеводы, жиры, белки, спирты и т.д., которые могут расщепляться ими либо в аэробных, либо в анаэробных условиях.

Весь цикл взаимоотношений клетки с окружающей средой в процессе изъятия из нее и трансформации питательных веществ определяется и регулируется соответствующими ферментами, каталитическая функция которых лежит в основе жизнедеятельности любого организма.

Если микроорганизмы культивируют в аэробных условиях, то сумму реакций биологического окисления можно представить в виде следующих схем:



где  $C_x H_y O_z N$  - органические вещества сточных вод;

$C_5 H_7 NO_2$  - среднестатистическое соотношение основных элементов продуцируемого клеточного вещества.

Реакции (1) и (2) символизируют биологический процесс очистки от исходных загрязнений состава  $C_x H_y O_z N$ . Первая реакция — окисление вещества на энергетические потребности клетки, вторая — на синтез биомассы состава  $C_5 H_7 NO_2$ . Затраты кислорода на эти две реакции соответствуют БПК<sub>полн</sub> сточной воды.

Если окисление проводится достаточно долго, то после использования исходного органического вещества начинается процесс окисления клеточного вещества бактерий [реакция (3)].

Реакции (1) и (2) осуществляют гетеротрофы. Когда вода очищена и экзогенный (внешний) источник органического углерода исчерпан, наступают благоприятные условия для развития автотрофных культур. При наличии в воде достаточной концентрации растворенного кислорода в среде развиваются автотрофы — нитрификаторы, которые проводят биологическое окисление аммонийного азота сначала до нитритного, а затем и до нитратного [реакция (4)].

Для нормального процесса синтеза клеточного вещества, а, следовательно, и для эффективного процесса очистки воды в среде должна быть достаточная концентрация всех основных элементов питания — органического углерода (БПК), азота, фосфора.

Достаточность элементов питания для бактерий в сточных водах определяется соотношением БПК : N : P. В каждом конкретном случае это соотношение индивидуально, так как оно определяется составом продуцируемых клеток, который, в свою очередь, зависит от состава очищаемой воды. При обработке городских сточных вод используется соотношение БПК:N:P= 100:5:1.

Биологическую очистку называют полной, если БПК очищенной воды составляет менее 20 мг/л, и неполной при БПК более 20 мг/л.

## 6.2. Анализ процессов биохимической очистки сточных вод в аэротенках.

**Аэротенки** – сооружения, в которых осуществляется изъятие и окисление органических загрязнений при помощи водных микроорганизмов, находящихся во взвешенном в жидкости состоянии в виде отдельных хлопьев. Скопления микроорганизмов и простейших, развивающихся в аэробных условиях на органических загрязнениях, содержащихся в сточной воде, получил название **активного ила**.

Для нормального протекания процесса очистки в аэротенки необходимо:

1) перемешивание жидкости с активным илом;

- 2) обеспечение растворенным кислородом;
- 3) установить режим подачи загрязнений на единицу массы микроорганизмов;
- 4) температурный режим.

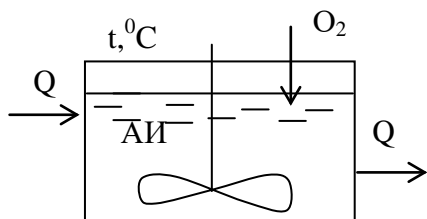


Рисунок 1 - Схема аэротенка.

Определяющий показатель процесса биологической очистки в аэротенках - скорость изъятия загрязнений из очищаемой воды, т.е. собственно процесс очистки воды и скорость 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 2):

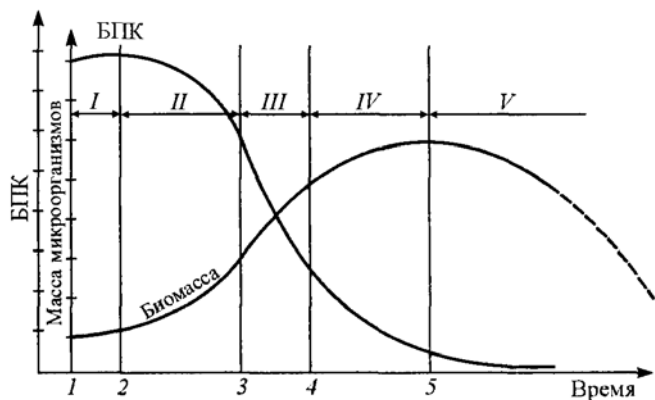


Рисунок 2 - Зависимость прироста биомассы в аэробных условиях от концентрации питательных веществ

I – лаг-фазу, характеризует стадию адаптации активного ила к внесенным загрязнениям, практически не происходит прироста биомассы;

II - фаза ускоренного роста микроорганизмов, вследствие избытка питательных веществ скорость размножения клеток - максимальная, интенсивное изъятие загрязнений;

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

IV - фазу нулевого роста (или прекращения роста), в которой значение концентрации ила стабилизируется, т.к. недостаточное количество питания тормозит рост микроорганизмов, свидетельствующее о равновесии между наличием питательных веществ и накопленной биологической массой;

V - фазу эндогенного дыхания (или фазу самоокисления), характеризуется низкой концентрацией загрязнений в сточных водах, вследствие чего происходит отмирание активного ила и снижение его концентрации.

### 6.3. Физико-химическая, химическая и микробиологическая характеристики активного ила.

1) Соотношение между количеством питания и массой микроорганизмов в аэротенке является важнейшей характеристикой, определяющей условия про-

текания в нем биохимических процессов. Эта характеристика получила название «нагрузки загрязнений на ил» - количество поступающих со сточной водой загрязнений, приходящееся на единицу массы ила в единицу времени. Выражается в мг или г загрязнения (ХПК, БПК или любого другого загрязнения) на 1 г беззольного вещества сухого ила в 1 ч или в 1 сут.

Исходя из нагрузки на активный ил, аэротенк бывают:

высоконагружаемые при нагрузках  $q_i > 0,5$  г БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки,

средненагружаемые при  $q_i \sim 0,15-0,5$  г БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки,

низконагруженный при  $q_i \sim 0,065-0,15$  г БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки,

аэротенки с «продленной аэрацией» при  $q_i$  менее  $\sim 0,065$  г БПК на 1 г беззольного вещества сухого ила в сутки, происходит самоокисление определенного количества активного ила.

2) «Доза активного ила»  $a_i$  – концентрация ила - масса ила в иловой смеси в граммах сухого вещества ила в 1 л или в 1 м<sup>3</sup> иловой смеси. Таким образом, среднюю нагрузку на активный ил, например, по загрязнениям, выраженным через БПК, можно представить как

$$q_i = 24L_{en}/a_i(1-s)t_{at} \quad (1)$$

где  $L_{en}$  - БПК поступающей в аэрационное сооружение сточной жидкости, мг/л или г/м<sup>3</sup>;  $S$  - зольность ила, доли единицы;  $a_i$  - доза ила, выражаемая в г/л, если БПК выражена в мг/л, и в г/м<sup>3</sup>, если БПК выражена в г/м;  $t_{at}$  - длительность пребывания жидкости в аэрационном сооружении.

Тогда нагрузка на ил выразится в граммах поступающей БПК на 1 г беззольного вещества сухого ила в 1 ч.

Средние значение дозы 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.

3) Разница между поступающей в аэрационное сооружение и выходящей из него БПК<sub>полн</sub> называется *снятой БПК<sub>полн</sub>*. Ее отношение к массе ила и длительности аэрации - *удельной скоростью изъятия загрязнений из очищаемой воды*, т.е. скоростью очистки. Последнюю выражают в мг или г БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч

$$\rho_i = (L_{en} - L_{ex})/a_i(1-s)t_{ai} \quad (2)$$

*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.

4) *Иловый индекс  $I_i$*  - объем, мл, приходящийся на 1 г сухого вещества активного ила после 30-минутного отстаивания иловой смеси. Иловый индекс характеризует седиментационную способность активного ила, т.е. предрасположенность ила к оседанию. 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.

5) *Окислительная мощность* аэрационного сооружения - количество за-

грязнений, снимаемых в единицу времени массой активного ила, находящейся в единице объема сооружения. Выражается в килограммах снятых загрязнений, приходящихся на  $1 \text{ м}^3$  сооружения в сутки. (Иногда эту величину называют объемной нагрузкой на сооружение). Окислительная мощность аэротенков может составлять от 0,3 кг БПК<sub>полн</sub> до 2-3 кг БПК<sub>полн</sub> на  $1 \text{ м}^3$  сооружения в зависимости от технологического режима его работы.

б) *Возраст ила* - 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, т.е. в мг/л или г/л. Прирост ила, называют избыточным активным илом в отличие от массы ила, возвращаемой из сооружения илоотделения в аэрационный резервуар и получившей название *циркуляционного активного ила*. Чем выше прирост ила, тем больше количество избыточного активного ила, и, следовательно, тем быстрее обновляется ил и тем меньше его возраст.

7) Работа аэрационных сооружений оценивается также такими энергетическими показателями, как расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений, например, кВтч на 1 кг БПК<sub>полн</sub> (или ХПК); расход энергии или воздуха на очистку  $1 \text{ м}^3$  сточной воды. Расход воздуха при пневматической системе аэрации подсчитывают по отношению к  $1 \text{ м}^3$  очищенной воды и 1 кг снятой БПК<sub>5</sub>. Для городских сточных вод при мелкопузырчатой системе аэрации на  $1 \text{ м}^3$  воды расходуется 5—10  $\text{м}^3$  воздуха, или 40—60  $\text{м}^3$  на 1 кг снятой БПК<sub>5</sub>.

8) Бионаселение активного ила весьма разнообразно. Оно включает бактерии, которым в процессе очистки отводится главенствующая роль, простейшие, грибы, некоторые высшие организмы (типа коловраток, червей, клещей), водоросли, вирусы.

Качественный и количественный состав микронаселения ила зависит от многих факторов: состава обрабатываемой воды, массы загрязнений, приходящихся на единицу массы ила в единицу времени, доступа кислорода, гидродинамического режима в сооружении и ряда других.

Число бактерий в илах колеблется от  $10^8$  до  $10^{13}$  на 1 мг сухого вещества.

В активном иле всегда присутствуют хорошо сформированные зооглейные скопления бактерий с развитой поверхностью, состоящие как из чистой культуры *Zooglea ramigera*, так и из развитых форм многих других видов бактерий.

Установлено, что чем больше различных органических соединений в стоках, тем разнообразнее биоценоз ила. Биоценоз ила меняется на протяжении процесса очистки воды. По мере изменения содержания питательных веществ в иле в нем происходит изменение числа бактерий разных родов.

#### *6.4. Классификация аэротенков по гидродинамическому режиму*

##### *Аэротенки-вытеснители*

Аэротенки-вытеснители – сооружения, в которые сточная вода и возвратный ил впускаются сосредоточенно с одной из торцовых сторон аэротенка и



выходят также сосредоточенно с другой торцевой стороны сооружения, т.е. более ранняя порция иловой смеси вытесняется вновь поступившей (рис. 3). Целесообразно применять при БПК<sub>5</sub> поступающей сточной воды до 200 мг/л, отсутствие трудноокисляемых загрязнений.

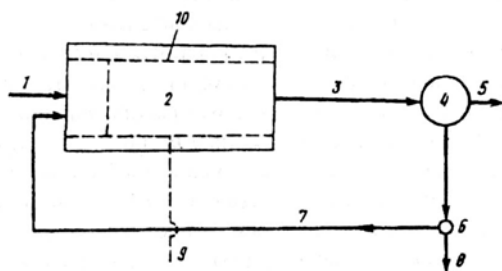


Рисунок 3 - Аэротенки-вытеснители:

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.

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, 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.

Достоинства - высокое качество очистки. Недостатки - невысокая доза ила, неравномерность органической нагрузки на активный ил в рабочем объеме, т.е. в зоне впуска ила больше, и очистка идет интенсивнее, чем на выходе, а в целом такая неравномерность снижает производительность аэротенков. 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, поэтому необходима соответствующая дифференцированная подача воздуха. В некоторых случаях до половины необходимого количества воздуха подается в первой 1/4 длины аэротенка.

#### Аэротенки-смесители

Аэротенки-смесители – сооружения, в которые сточные воды и активный ил подаются равномерно вдоль длинных сторон коридора аэротенка. Сбор очищенной жидкости происходит на стороне, противоположной впуску. Иловая смесь, таким образом, протекает не вдоль, а поперек аэротенка (рис. 4). Целесообразно применять при БПК<sub>5</sub> поступающей сточной воды более 200 мг/л, при наличии медленно окисляемых веществ, а также при непостоянном составе сточных вод.

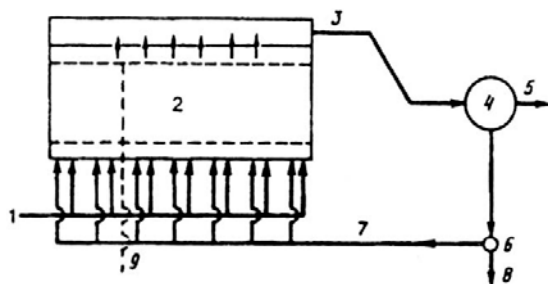


Рисунок 4 - Аэротенк-смеситель

Достоинства – высокая скорость окисления загрязнений, равномерная органическая нагрузка на ил по всему объему сооружения. Недостатки - вероятность "проскока" с очищенной водой неокисленных или неполностью окисленных загрязнений, что несколько снижает надежность и стабильность качества очистки воды в этих сооружениях.

#### Аэротенки с рассредоточенной подачей воды

Аэротенки с рассредоточенной подачей воды - сооружения, в которых 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 (рис. 5).

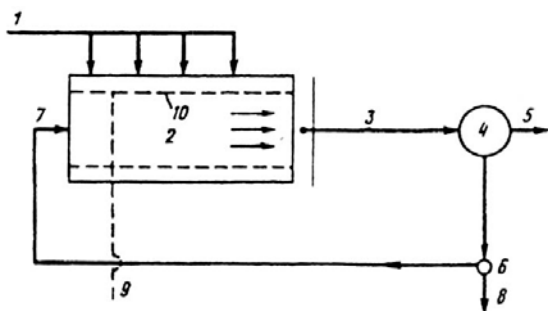


Рисунок 5 - Аэротенк с рассредоточенной подачей воды

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.

#### 6.5. Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках

В основные технологические схемы очистки сточных вод входят аэротенки одноступенчатые, аэротенки с регенераторами и аэротенки двухступенчатые.

Аэротенки одноступенчатые. Классическая схема биологической очистки сточных вод. Преимущества в относительной простоте устройства и эксплуатации.

#### Аэротенки одноступенчатые с регенераторами.

В основу схемы с аэротенками и регенераторами положена разница в скоростях двух процессов — очистки илом сточной воды от исходных загрязнений и биохимического окисления этих загрязнений. Для городских сточных вод эта схема оказалась весьма рациональной, поскольку скорость очистки сточной воды в 2—5 раз превышает скорость окисления. Введение регенераторов для обработки городских сточных вод рекомендуется применять при БПК<sub>5</sub> поступающей воды 100 мг/л и более.

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 метаболиче-

скую активность. Регенерированный ил направляется затем из регенератора в собственно аэротенк для нового контакта с очищаемой жидкостью и ния цикла изъятия из нее загрязнений (рис. 6).

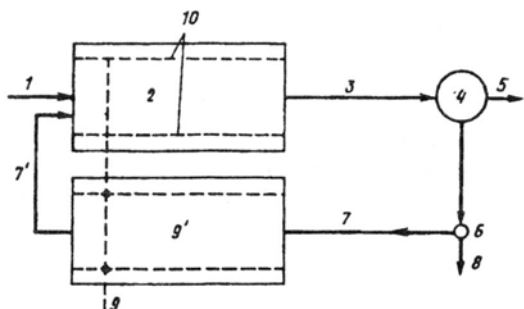


Рисунок 6 - Аэротенк с регенерацией активного ила:

7' - регенерированный активный ил; 9' - регенератор ила

Аэротенки двухступенчатые без регенераторов. Применяется при высокой исходной концентрации органических загрязнений в воде, а также при наличии в воде веществ, скорость окисления которых резко различна. В первой ступени аэротенков происходит частичная очистка сточных вод (БПК снижается на 50-70%), затем после осветления во вторичных отстойниках они поступают во вторую ступень. В этих условиях в активном иле первой и второй ступени развиваются специфические аэробные микроорганизмы, приспособленные к данным конкретным условиям. В результате получается высокий эффект полной очистки сточных вод с некоторым снижением объема аэротенков, а также воздуха для их аэрации (рис. 7).

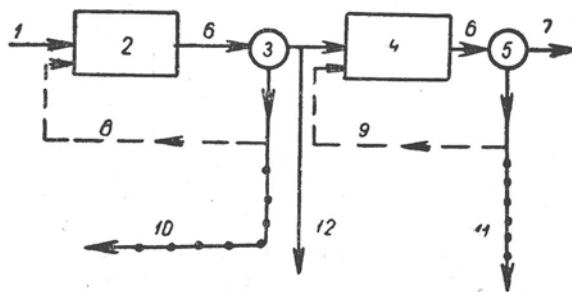


Рисунок 7 - Схема очистки сточных вод в двухступенчатых аэротенках без регенераторов

1 - осветленная сточная вода; 2 и 4 - аэротенки I и II ступени; 3 и 5 - отстойники I и II ступени; 6 - иловая смесь; 7 - очищенная сточная вода; 8 и 9 - возвратный активный ил I и II ступени; 10 и 11 - избыточный активный ил I и II ступени; 12 - аварийный выпуск.

Практически всегда в качестве аэротенков второй ступени применяются аэротенки-вытеснители (хотя могут применяться и аэротенки с рассредоточенным впуском воды в них) для обеспечения постоянства качества очистки. Аэротенки-смесители более эффективны на первой ступени для снятия основной массы загрязнений при более низкой степени очистки (т.е. для частичной очистки сточной воды).

Аэротенки двухступенчатые с регенераторами (рис. 8). В этой схеме очистки в каждой ступени аэротенков предусмотрены регенераторы. Применяются при очистке сточных вод, концентрированных по органическим загрязнениям, при возможном залповом их поступлении вместе с токсическими веществами.

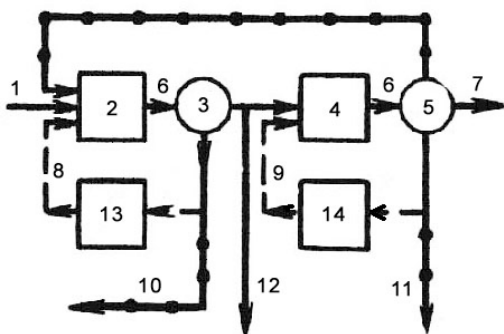


Рисунок 8 - Схема очистки сточных вод в двухступенчатых аэротенках с регенераторами: 13 и 14 - регенератор I и II ступени

Также регенераторы можно превратить только для I ступени аэротенков в объеме 50%. Менее нагруженным по количеству загрязнений является активный ил

аэротенков II ступени, поэтому некоторые специалисты рекомендуют направлять его избыток в аэротенки I ступени.

#### 6.6. Конструкции коридорных аэротенков.

Одной из существенных характеристик аэротенков является их связь с сооружениями последующего разделения иловой смеси. С этой точки зрения различают *аэротенки с отдельными отстойными сооружениями*, т.е. с независимым друг от друга гидравлическим режимом работы аэротенков и вторичных отстойников, 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 практически любой пропускной способности, но наиболее часто на крупных и средних.

Аэротенки представляют собой железобетонные резервуары прямоугольной в плане формы. Глубина их  $H$  обычно принимается от 3 до 5 м. Аэротенки состоят из секций, причем каждая из них делится продольными перегородками, не доходящими до одной торцевой стены, на 2, 3 и 4 коридора. Длина каждого коридора должна быть не менее 10 ширин.

При проектировании аэротенков на полную биологическую очистку предусматривают возможность работы сооружений без отдельной регенерации активного ила, а также с регенераторами. 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. Требуемый объем регенераторов, выраженный в % от суммарного объема собственно аэротенков и регенераторов, получил название "процента регенерации".

Аэротенки-вытеснители (рис. 9). Циркулирующий активный ил поступает в первый по ходу коридор. Сточные воды подаются в одном месте:

- в точке *a*, и в этом случае аэротенки работают без регенерации активного ила;
- в точке *б* – с 50%-ной регенерацией ила (50 % объема всего сооружения занимает регенератор);
- в точке *в* – при этом регенератор занимает 33 % объема аэротенка;
- в точке *г* – регенератор занимает 25 % объема сооружения.

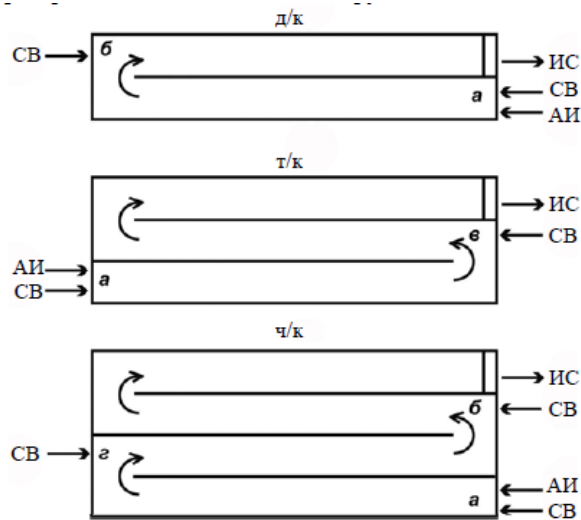


Рисунок 9 - Схемы работы трехкоридорных (д/к), дорных (ч/к) аэротенков-вытеснителей:

СВ – подача сточных вод;  
 АИ – подача активного ила;  
 ИС – иловая смесь во вторичные отстойники;  
 а – выпуск сточных вод при отсутствии регенератора;  
 б – выпуск сточных вод при объеме регенератора 50 % от объема сооружения;  
 в и г – то же при объеме регенератора 33 и 25 %

**Аэротенки-смесители.** На рис. 10 показаны возможные способы выпуска сточных вод в двух-, трех- и четырехкоридорные аэротенки. Стоки по лотку, располагаемому над стенкой одного из коридоров, могут подаваться через все либо через часть выпускных устройств (шиберы с калиброванными отверстиями). Если первые по ходу выпускные устройства закрыты, то часть аэротенка от места ввода активного ила до ближайшего открытого устройства становится регенератором. Очевидно, что объем регенератора может меняться в широких пределах. Иногда в конце регенератора устраивается перегородка с отверстием, которая предотвращает перемешивание содержимого аэротенка и регенератора обратными токами воды.

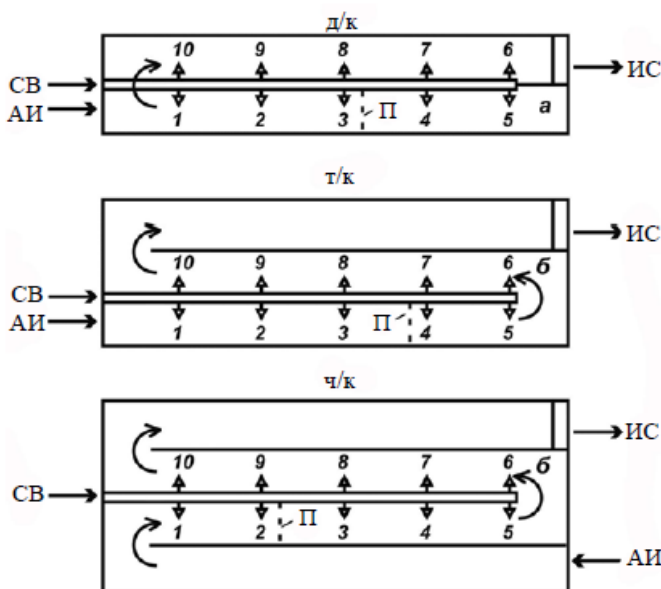


Рисунок 10 - Схемы работы двухкоридорных, трехкоридорных, и четырехкоридорных аэротенков-смесителей:

1 – 10 – возможные места выпуска сточных вод в аэротенк;  
 П – условное место конца регенератора (иногда ограниченного перегородкой)

### 6.7. Конструкции совмещенных сооружений.

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 и пр., 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" (рис. 11).

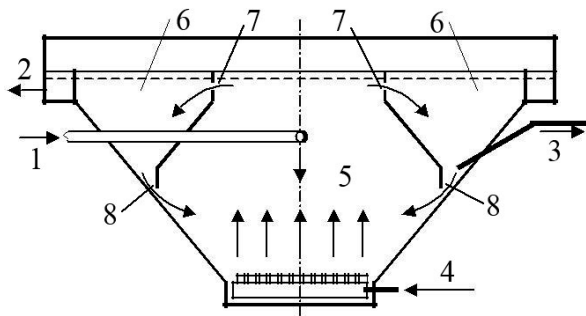


Рисунок 11 - Оксиконтакт:

1 - впуск сточной воды; 2 - отвод очищенной воды; 3 - отвод избыточного активного ила; 4 - подвод воздуха; 5- зона аэрации; 6 - зона отстаивания; 7 - переливные окна; 8 - продольные щели.

Сточная вода после первичных отстойников подается в распределительный трубопровод, расположенный вдоль аэрационной зоны, находящейся в центре прямоугольного в плане резервуара. С обеих сторон аэрационной зоны расположены отстойные зоны, отделенные от нее внутренними наклонными перегородками. Перегородки имеют в их верхней части регулируемые переливные окна, через которые иловая смесь поступает в отстойную зону. В низу перегородки примыкают к наклонной внешней стенке аэротенка таким образом, что образуется продольная щель с каждой продольной стороны аэрационной зоны. Через эти щели осаждающийся в отстойной зоне активный ил под воздействием гравитационных сил возвращается в зону аэрации. Осветленная вода после отделения ила собирается лотками 2, расположенными вдоль внешней стороны каждой отстойной зоны. Избыточный активный ил отводится из осадочной части отстойной зоны через илоотводные трубопроводы, расположенные на определенных расстояниях друг от друга. Аэрационная зона снабжается воздухом через колпачковые аэраторы, монтируемые либо в плиту днища, перекрывающую воздушный канал, либо в воздухопроводы, укладываемые по днищу этой зоны таким образом, чтобы вызывать двойной спиралеобразный поток иловой смеси. 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.

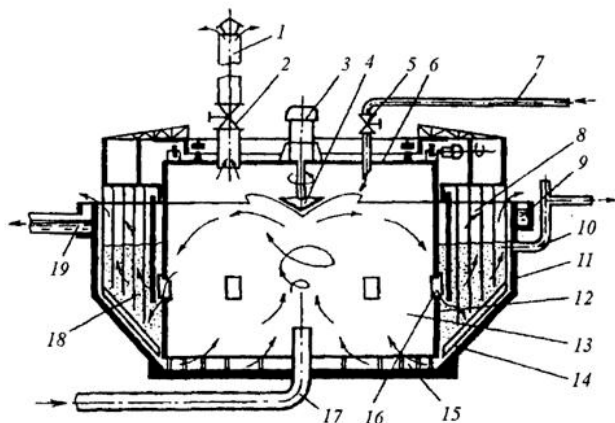
**Окситенки.** Использование кислорода вместо воздуха позволяет поддерживать в очищаемой воде концентрацию растворенного кислорода в 5-10 мг/л вместо обычно принятой для аэротенков концентрации в 1,5-2 мг/л. Это в свою очередь дает возможность существенного повышения окислительной способности сооружения и устойчивости очистных процессов при шоковых и резко колеблющихся нагрузках на активный ил. Кроме того, прирост активного ила в таких сооружениях 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 (рис. 12) выполнен в виде резервуара круглой в

плана 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.

Рисунок 12 - Окситенк:



1 - продувочный трубопровод; 2 и 5 - задвижки с электрическим приводом; 3 - электродвигатель; 4 - турбоаэратор; 6 - герметическое перекрытие; 7 - трубопровод подачи кислорода; 8 - вертикальные стержни; 9 - сборный лоток; 10 - труба для сброса избыточного ила; 11 - круглый резервуар; 12 - цилиндрическая перегородка; 13 - зона аэрации; 14 - скребок; 15 - окна для поступления возвратного ила в зону аэрации; 16 - окна для перепуска иловой смеси из зоны аэрации в илоотделитель; 17 - труба для подачи сточной воды в зону аэрации; 18 - илоотделитель; 19 - труба для отвода очищенной воды.

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.

В настоящее время наиболее перспективно применение окситенков на объектах, которые имеют собственный технический кислород или могут получать его от соседних предприятий (например, заводы по производству синтетического каучука, а также химические, коксохимические, нефтехимические и др.).

### 6.8. Системы аэрации и типы аэраторов.

**Пневматическая система аэрации.** Пневматическая аэрация заключается в подаче воздуха с помощью компрессора и распределении его в очищаемой жидкости посредством аэраторов.

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 фильтросные пластины – устарели морально и материально, тканевые и пластиковые аэраторы, мелкопузырчатые пористые титановые дисковые аэраторы, тарельчатые пластиковые аэраторы с лазерной насечкой отверстий, дисковые аэраторы трубчатые аэраторы и др. Коэффициент использования воздуха – 15-18%.

Преимуществами современных аэраторов являются высокие окислительная мощность и использование кислорода, экономичность, низкие потери давления, простая конструкция элемента, возможность простой и быстрой замены элемента, высокая устойчивость к засорению. Используются резиновые мембраны, резино-пластиковый или волокнисто-пористый полиэтилен и др. материалы.

Эффективность аэрации зависит от их расположения по днищу аэротенка. Используется пристенная форма монтажа, расположение аэраторов по всему днищу.

*К среднепузырчатым аэраторам* можно отнести перфорированные трубы, щелевые аэраторы и др. Коэффициент использования воздуха – 8-12 %

Перфорированные трубы, укладываются у дна аэротенка, с отверстиями перфорации диаметром 3-4 мм. Воздухоподающие стояки устанавливаются через 20-30 м. Трубы должны быть уложены строго горизонтально, иначе воздух будет продуваться неравномерно по длине трубы. Опыт эксплуатации стальных перфорированных труб показал, что через короткий срок отверстия засоряются ржавчиной и подача воздуха уменьшается.

*К крупнопузырчатым аэраторам* относятся открытые снизу вертикальные трубы, а также сопла. Коэффициент использования воздуха – 6-7 %

**Механическая система аэрация.** Системы механической аэрации иловых смесей известны давно, но широкое распространение они получили в 60-70-е годы 20-го столетия. Механические аэраторы весьма разнообразны в конструктивном отношении, но принцип их работы одинаков: вовлечение воздуха непосредственно из атмосферы вращающимися частями аэратора (ротором) и перемешивание его со всем содержимым аэротенка. Все механические аэраторы можно классифицировать следующим образом:

- по принципу действия – глубинные (импеллерные или 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.



- по характеру перемещения — самодвижущиеся и с принудительным перемещением.

Наиболее широкое распространение получили аэраторы *поверхностного типа*, особенностью которых является незначительное погружение их в сточную воду и непосредственная связь ротора с атмосферным воздухом.

*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.

**Смешанная, или комбинированная система** сочетает в себе элементы пневматической и механической аэрации.

*Струйные, или эжекторные* аэраторы по принципу действия аналогичны механическим поверхностным аэраторам с вертикальной осью вращения. Конструктивное оформление эжекторных аэраторов весьма разнообразно, однако, как правило, они имеют в своем составе сопло для пропуска рабочей жидкости, патрубок для вовлечения воздуха из атмосферы, камеру смешения и диффузор (рис. 13).

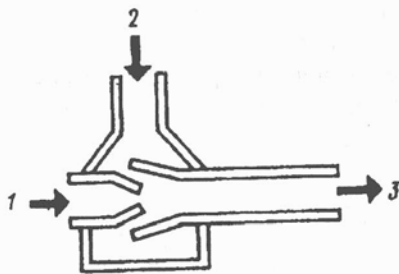


Рисунок 13 - Принцип действия эжекторного аэратора: 1 - сточная жидкость; 2 - подсос воздуха из атмосферы; 3 - водовоздушная смесь

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 (зону расширения потока), 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 (вода - воздух). Применяется эта система аэрации для сравнительно небольших очистных сооружений, так как радиус действия эжекторного аэратора невелик.

## Тема 7. Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (биофильтры).

(Теоретический раздел)

- [7.1. Теоретические основы метода биофильтрации.](#)
- [7.2. Классификация биологических фильтров.](#)
- [7.3. Технологические схемы работы биофильтров.](#)
- [7.4. Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров.](#)
- [7.5. Системы вентиляции биофильтров.](#)
- [7.6. Конструкции и расчет биофильтров \(капельные биофильтры, высоконагружаемые биофильтры, биофильтры с плоскостной загрузкой\).](#)
- [7.7. Погружные биофильтры \(дисковые, барабанные\), конструкции и их расчет.](#)

### 7.1. Теоретические основы метода биофильтрации.

Биологический фильтр (биофильтр) - сооружение, заполненное различными видами загрузки, на поверхности которых развивается биологическая плёнка (биоплёнка), образованная колониями микроорганизмов, осуществляющие процесс изъятия и окисления загрязнений сточных вод.

Биофильтр состоит из следующих частей (рис. 1):

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

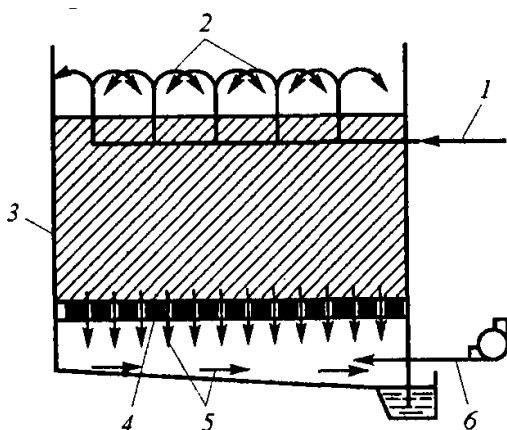


Рисунок 1 - Схема биологического фильтра:

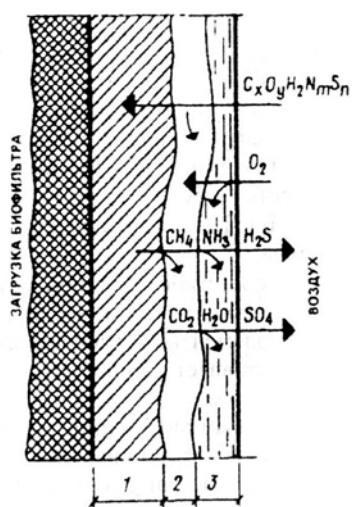
1 - подача сточных вод; 2 - водораспределительное устройство; 3 - фильтрующая загрузка; 4 - дренажное устройство; 5 - очищенная сточная вода; 6 - вентиляционное устройство

Сточные воды подаются тонким слоем на поверхность загрузки, покрытой био пленкой, при этом осуществляется контакт загрязнений сточных вод с био пленкой.

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 (загрузочного материала), которая осуществляет процессы извлечения и сложной биологической переработки загрязнений из сточных вод.

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. Таким образом, 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 плёнки 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 (рис. 2).

Рисунок 2 - Схема обмена веществ в элементарном слое биофильтра:

- 1 - анаэробный слой биопленки;
- 2 - аэробный слой биопленки;
- 3 - слой сточной воды

## 7.2. Классификация биофильтров.

Биофильтры можно классифицировать по следующим признакам:

а) по степени очистки:

- полная,
- неполная;

б) по способу подачи воздуха:

- естественная,
- искусственная вентиляция;

в) по режиму работы:

- с рециркуляцией,
- без рециркуляции;

г) по технологической схеме:

- одноступенчатые,
- двухступенчатые;

д) по пропускной способности:

- малой (капельные),
- большой (высоконагружаемые);

е) по конструктивным особенностям загрузки:

- с объемной загрузкой (гравий, шлак, керамзит, щебень и др.),
- с плоскостной загрузкой (пластмассы, асбестоцемент, керамика, металл, ткани и др.).

Биофильтры с объемной загрузкой подразделяются на следующие виды:

- капельные, имеющие крупность фракций загрузочного материала 20-30 мм и высоту слоя загрузки 1-2 м;
- высоконагружаемые, имеющие крупность загрузочного материала 40-60 мм и высоту слоя загрузки 2-4 м;
- биофильтры большой высоты (башенные), имеющие крупность загрузочного материала 60-80 мм и высоту слоя загрузки 8-16 м.

Объемный загрузочный материал имеет плотность 500-1500 кг/м<sup>3</sup> и пористость 40-50%.

Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются на следующие виды:

- с жесткой засыпной загрузкой. В качестве загрузки могут использоваться керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы. В зависимости от материала загрузки плотность ее составляет 100-600 кг/м<sup>3</sup>, 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/м<sup>3</sup>, пористость 90-97%, высота слоя загрузки 2-16 м;

- с мягкой или рулонной загрузкой, выполненной из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей (нейлон, капрон), которые крепятся на каркасах или укладываются в виде рулонов. Плотность такой загрузки 5-60 кг/м<sup>3</sup>, пористость 94-99%, высота слоя загрузки 3-8 м.

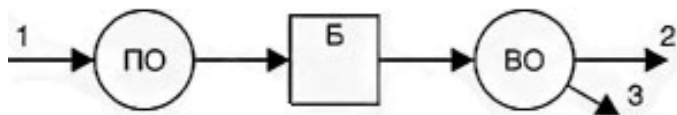
К биофильтрам с плоскостной загрузкой можно отнести погружные дисковые биофильтры. Диски изготавливаются из пластмасс, металла, асбестоцемента и др. материалов.

Биофильтры с плоскостной загрузкой рекомендуется применять при суточной производительности до 10000 м<sup>3</sup>/сут, с объемной – до 50000 м<sup>3</sup>/сут.

### *7.3. 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 биофильтрации и вторичного отстаивания, оборудование и коммуникации для подачи и распределения сточной воды, отведения и рециркуляции очищенной воды, вентиляции биофильтров.

а) Классическая схема очистки сточных вод (одноступенчатая) при концентрации органических загрязнений по БПК<sub>5</sub> < 200 мг/л. По этой схеме сточная вода, после первичного отстаивания поступает на биофильтр и далее биологически очищенная вода осветляется во вторичном отстойнике.



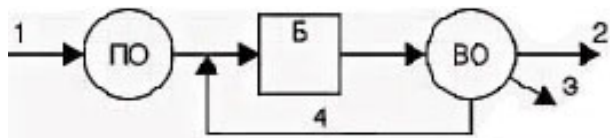
1 - осветленные сточные воды после сооружений механической очистки;  
 2 - биологически очищенные сточные воды; 3- избыточная биопленка;

Б - биофильтр;

ПО - первичный отстойник;

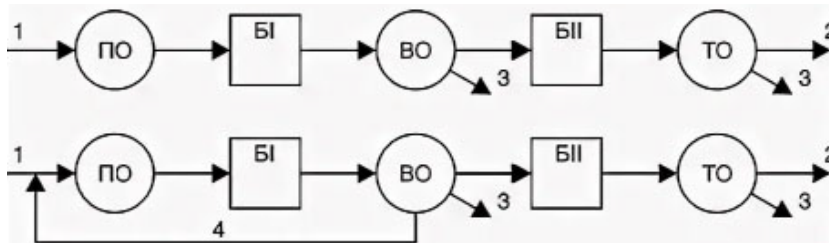
ВО - вторичный отстойник.

б) одноступенчатая с рециркуляцией, при концентрациях загрязнений по БПК<sub>5</sub>>200 мг/л. 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.



4 - подача сточных вод на рециркуляцию;

в) двухступенчатые технологические схемы, при высоких концентрациях органических загрязнений по БПК, если содержатся трудноокисляемые загрязнения.

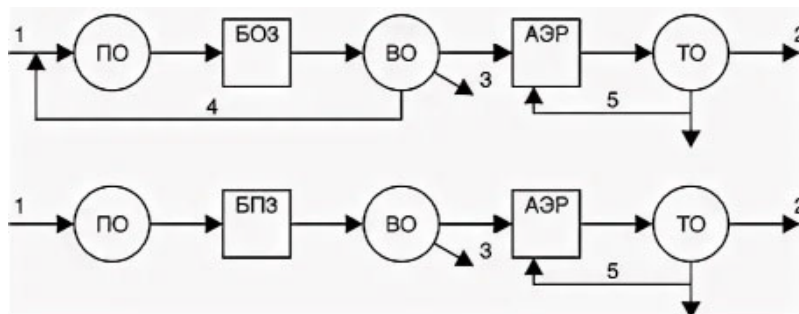


Б I - биофильтр первой ступени;

Б II - биофильтр второй ступени;

ТО - третичный отстойник;

г) двухступенчатые с биофильтрами на первой ступени и аэротенками на второй



5 - рециркуляционный активный ил;

БОЗ - биофильтр с объёмной загрузкой;

БПЗ - биофильтр с плоскостной загрузкой;

АЭР - аэротенк.

#### 7.4. Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров.

Надежная работа биофильтра может быть достигнута только при равномерном орошении водой его поверхности. Орошение производится распределительными устройствами, которые подразделяются на две основные группы: неподвижные и подвижные. К неподвижным распределителям относятся а) дырчатые желоба или трубы, б) разбрызгиватели (спринклеры), к подвижным — а) качающиеся желоба, б) движущиеся наливные колеса, в) вращающиеся реактивные распределители (оросители). Наибольшее распространение получили спринклерное орошение и орошение с помощью подвижных оросителей.

**Спринклерное орошение.** Спринклерная система состоит из дозирующего бака, разводящей сети и спринклеров (рис. 3) 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 же наполнения бака зависит только от притока сточных вод, который колеблется в течение суток. Поэтому орошение биофильтра производится периодически, через неравные по продолжительности интервалы. Во избежание

сильного охлаждения необогреваемых биофильтров интервал между орошением не должен превышать 5-8 мин.

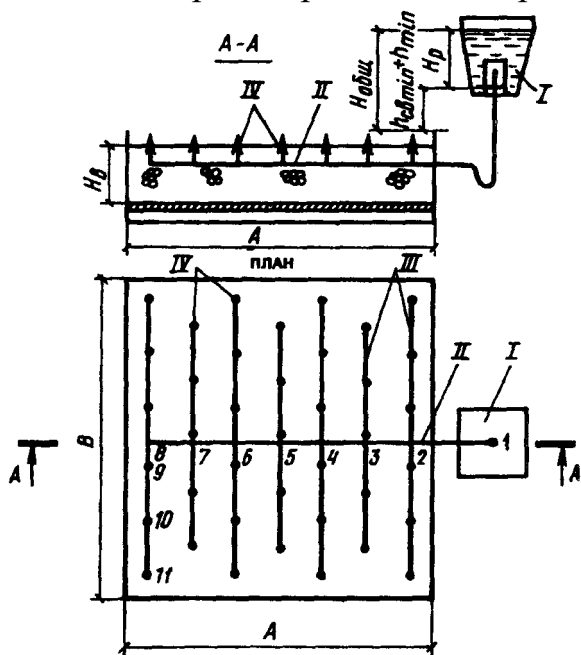


Рисунок 3 - Схема спринклерной водораспределительной сети биофильтра:

I - дозирующий бак; II - магистральная труба; III - разводящие трубы; IV - спринклеры; 1-11 - расчетные участки водораспределительной сети

Спринклеры (спринклерные головки) - специальные насадки, шпindelного типа с держателем, надетые на концы стояков, которые ответвляются от водораспределительных труб, уложенных на поверхности или в теле биофильтра. Отверстия спринклерных головок невелики - обычно 19; 22 и 25 мм. Спринклеры располагаются в шахматном порядке на стояках распределительной системы труб. Расстояние между ними в одном ряду  $l = 1,732 R$ , где  $R$  - радиус разбрызгивания. Расстояние между рядами спринклеров  $l_1 = 1,5 R$ . Возвышение спринклера над поверхностью биофильтра принимается 0,15 м. При этом сама водораспределительная сеть труб может располагаться на поверхности или в толще загрузки.

Для накапливания сточных вод и периодической подачи их биофильтр устраивается дозирующий бак. Объем бака рассчитывается на максимальный приток сточных вод в течение 5—15 мин соответствующих периоду между

двумя орошениями.

Расчет водораспределительной системы сводится к определению расхода воды из каждого разбрызгивателя (спринклера), 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.

#### **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 во вращающийся вокруг своей вертикальной оси стояк. 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.

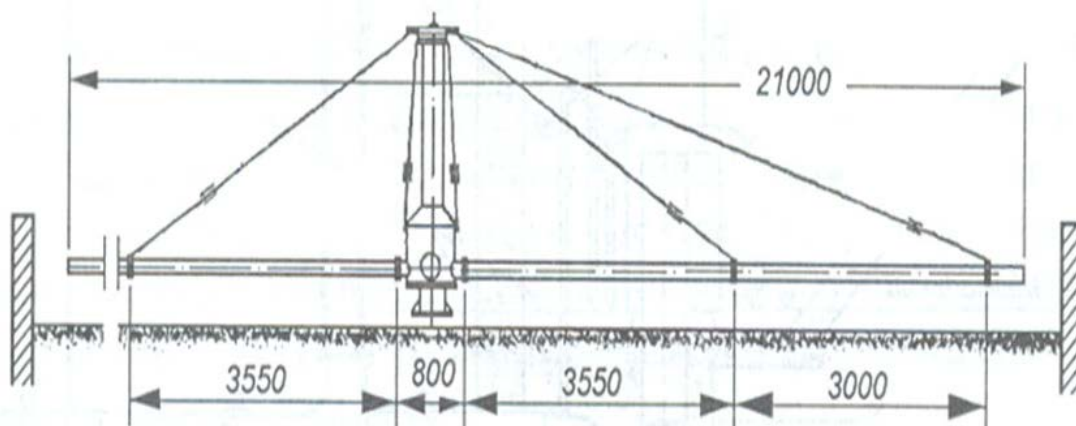


Рисунок 5 - Вращающийся ороситель

Достоинства: а) для приведения в действие реактивного оросителя необходим сравнительно небольшой напор (0,2 - 1 м), б) отпадает необходимость в устройстве дозаторов.

Плечо оросителя обычно принимается на 100 мм меньше радиуса фильтра. Превышение его над поверхностью загрузки составляет 0,2 м. 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. Скорость движения жидкости в трубах принимается 0,5-1 м/сек.

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.

### 7.5. Системы вентиляции биофильтров.

Для нормального функционирования биофильтров необходимо обеспечить достаточное поступление кислорода воздуха.

Различают два типа вентиляции биофильтров: естественную и искусственную. Выбор типа вентиляции определяется: а) типом и конструкцией биофильтра, б) климатическими условиями размещения сооружений.

Искусственная вентиляция в основном используется в высоконагружаемых биофильтрах (аэрофильтрах). Для вентиляции высоконагружаемых биофильтров применяются вентиляторы низкого давления, обеспечивающие напор от 8 до 100 мм. Подбор вентилятора осуществляется на основании расчёта биофильтра при определении количества воздуха, определяемого по формуле:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{уд}} \cdot Q,$$

где  $Q$  - среднесуточный расход сточной воды, м<sup>3</sup>/сут;

$V_{\text{уд}}$  - удельный расход воздуха, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Надёжную работу вентиляторов характеризует стабильное значение рН и одинаковое содержание растворенного кислорода в очищенной воде, взятой с различной высоты биофильтров.

Перерывы в орошении аэрофильтров при сохранении продувки воздухом могут сопровождаться повышением температуры в теле фильтра до 50-60°С и появлением неприятного запаха, связанного с разложением отмирающей биопленки. Также нельзя допускать снижения температура в теле биофильтра ниже 10 °С, так как возможно нарушение процесса нитрификации.

При проектировании биофильтров следует учитывать, что основная масса воздуха поступает в сооружение через междудонное пространство и сверху вместе с водой по мере ее движения в фильтре. Интенсивность вентиляции биофильтров зависит также от высоты слоя фильтрующей загрузки, крупности фракции загрузки и высоты междудонного пространства. Чем мельче загрузка, тем хуже условия вентиляции. Для обеспечения нормальных условий для вентиляции биофильтра в нижней его части (междудонном пространстве) устраиваются вентиляционные отверстия, суммарная площадь которых должна составлять для капельных биофильтров не менее 1 % от площади поверхности сооружения, а для башенных и биофильтров с плоскостной загрузкой - не менее 7-10 %.

При естественной аэрации воздух в тело биофильтра поступает вследствие разности температур внутри биофильтра и вне его. Разность температур, безусловно, ускоряет воздухообмен, но, при этом необходимо учитывать влияние и диффузионных процессов, протекающих при окислительно-восстановительных реакциях в биофильтре.

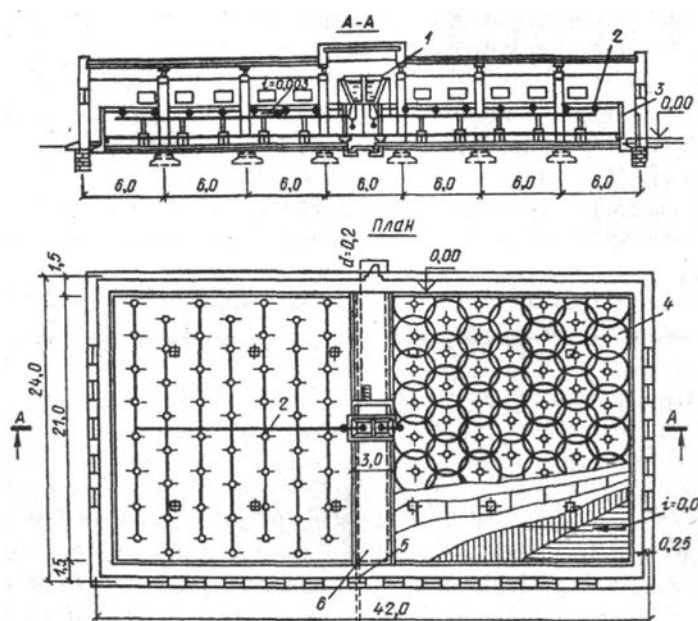
Величина слоя биоплёнки оказывает влияние на условия равновесия вне биофильтра и внутри его при диффузионных потоках кислорода и углекислого газа. Поэтому при достаточно большом слое биоплёнки может наступить момент, когда потребление кислорода биопленкой прекратится. В этом случае в теле биофильтров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



## 7.6. Конструкции и расчет биофильтров.

### 7.6.1. Капельные биофильтры.

Применяются при расходе до 1000 м<sup>3</sup>/сут, при БПК<sub>5</sub> до 150 мг/л, при малых гидравлических нагрузках 1-3 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>сут). В зависимости от расхода и температуры воздуха размещаются в неотапливаемых или отапливаемых помещениях. Проектируются круглыми или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Верхнее дно представляет собой колосниковую решётку и нижнее - сплошное. Высота междудонного пространства не менее 0,6 м для возможности периодического его осмотра. 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 днища к сборным лоткам принимается не менее 0,01; продольный уклон сборных лотков (максимально возможный по конструктивным соображениям) - не менее 0,005. Стенки биофильтров выполняются из сборного железобетона или кирпича и возвышаются над поверхностью загрузки на 0,5 м. Наилучшими природными материалами для засыпки биофильтров являются щебень, гравий и галька. Все применяемые для загрузки материалы должны удовлетворять требованиям прочности и морозостойкости. Загрузка биофильтров по высоте должна быть одинаковой крупности и только для нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м следует применять загрузку крупностью 70-100 мм. На рис. 6 показан капельный биофильтр прямоугольной формы.



Капельный биофильтр прямоугольной формы.

Рисунок 6 – Капельный биофильтр

- 1 – дозирующие баки сточной воды;
- 2 – спринклеры;
- 3 – железобетонная стенка;
- 4 – загрузка биофильтра;
- 5 – подача сточной воды;
- 6 – отводящий лоток.

### 7.6.2. Высоконагружаемые биофильтры.

Размещаются на открытом воздухе. Применяются при расходе до 50000 м<sup>3</sup>/сут, при БПК<sub>5</sub> до 200 мг/л, при гидравлических нагрузках 10-30 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>сут) – для обеспечения промывки фильтра. Конструктивными отличиями высоконагружаемых биофильтров являются большая высота слоя загрузки, большая крупность ее фракций и особая конструкция днища и дренажа, обеспечиваю-

щая возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом. В закрытое (обязательно) междудонное пространство вентилятором подается воздух.

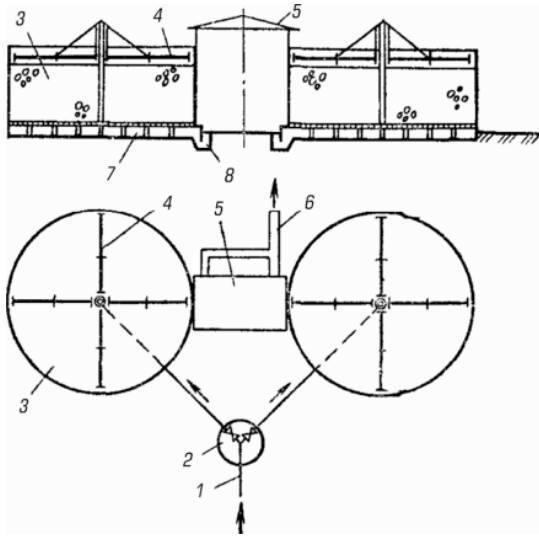


Рисунок 7 - Высокнагружаемые биофильтры с реактивными оросителями:

- 1 — подача сточных вод;
- 2 — распределительная камера;
- 3 — фильтрующая загрузка;
- 4 — реактивный ороситель;
- 5 — вентиляционная камера;
- 6 — лотки для отвода сточных вод;
- 7 — дренажное устройство;
- 8 — гидрозатвор

### 7.6.3. Биофильтры с плоскостной загрузкой.

Размещаются в закрытом помещении. Применяются при расходе до 50000 м<sup>3</sup>/сут, при БПК<sub>5</sub> до 170 мг/л (при обеспечении полной биологической очистки). Могут быть круглыми, многогранными или прямоугольными в плане со сплошными стенками и двойным дном. Эти сооружения компактны, надежны в эксплуатации, не подвержены заилению, имеют малую энергоемкость. В качестве загрузки используются блочные, засыпные и рулонные материалы из пластических масс, металла, асбестоцемента, керамики, стекла, дерева, тканей и др. Высота слоя загрузочного материала 3-8 м, пористость 70-99%, удельная площадь поверхности 60-250 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, плотность 10-250 кг/м. Небольшой объёмный вес загрузочного материала позволяет использовать при монтаже этих сооружений легкие строительные конструкции, например, плоские асбестоцементные листы, прикреплённые к жесткому металлическому каркасу.

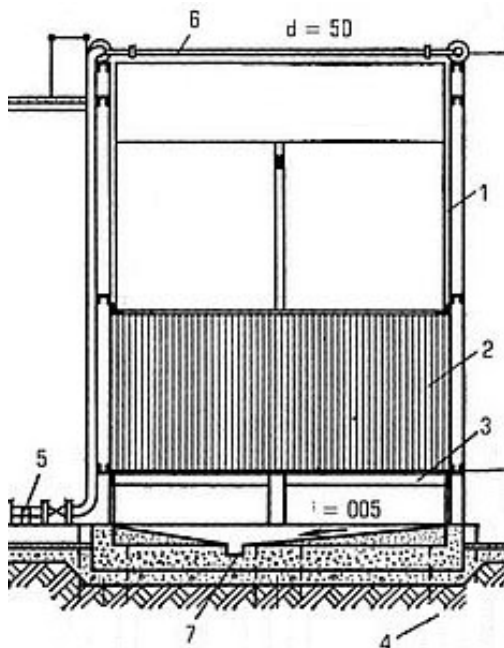


Рисунок 8 - Биофильтр с плоскостной загрузкой:

- 1 — корпус из асбестоцементных листов по металлическому каркасу;
- 2 — плоскостная загрузка;
- 3 — решетка;
- 4 — бетонные столбовые опоры;
- 5 — подводящий трубопровод;
- 6 — спринклерная разводящая сеть;
- 7 — отводящие лотки

#### 7.6.4. Расчет биофильтров.

##### Расчёт капельных биофильтров

1) Допустимое значение БПК<sub>5</sub> сточных вод, подаваемых на биофильтр, составляет  $L_{en} = 150$  мг/л; при  $L_{en} > 150$  мг/л необходимо предусматривать рециркуляцию;

гидравлическая нагрузка  $q_{bf} = 1-3$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>сут);

рабочая высота  $H_{bf} = 1,5$  и 2 м;

БПК<sub>5</sub> очищенной воды  $L_{ex} = 15$  мг/л.

Расчет капельных биофильтров производится в такой последовательности:

1) определяется коэффициент  $K$ :

$$K_{bf} = \frac{L_{en}}{L_{ex}}$$

где  $L_{en}$ ,  $L_{ex}$ , - БПК<sub>5</sub> сточных вод, соответственно, поступающей и очищенной;

2) по температуре сточной воды  $T_w$  и значению  $K_{fb}$  по справочным данным определяются высота биофильтра  $H_{bf}$  и гидравлическая нагрузка  $q_{bf}$ . Если полученное значение  $K_{bf}$  превышает значения, приведенные в справочных данных то необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией;

3) по расходу очищаемых сточных вод  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут, и гидравлической нагрузке  $q_{bf}$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>сут) определяется общая площадь биофильтров  $S$ , м<sup>2</sup>:

$$S_{bf} = \frac{Q}{q_{bf}}$$

Биофильтры устраивают в виде отдельных секций. Число и размеры секций зависят от способов распределения сточной воды по поверхности, условий их эксплуатации и пр. Число секций должно быть не менее 2 и не более 6-8, все секции должны быть рабочими.

##### Расчёт высоконагружаемых биофильтров

Высоконагружаемые биофильтры, размещаются на открытом воздухе, высоту биофильтра назначают в зависимости от БПК<sub>5</sub> очищенной сточной воды, а гидравлическую нагрузку в пределах  $q_{af} = 10 - 30$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>сут). Допустимое значение БПК поступающих на биофильтр сточных вод –  $L_{en} = 200$  мг/л, при  $L_{en} > 200$  мг/л необходимо предусматривать рециркуляцию;

Расчет высоконагружаемых биофильтров производится в такой последовательности :

1) определяется коэффициент  $K_{rc}$

$$K_{rc} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}}$$

$L_{mix}$  – БПК<sub>5</sub> смеси исходной и циркулирующей воды, при этом  $L_{mix}$  не более 200 мг/л.

2) по температуре сточной воды  $T_w$  и найденному значению  $K_{rc}$  определяют высоту биофильтра  $H_{af}$ , гидравлическую нагрузку  $q_{af}$  и расход воздуха  $q_a$  по справочным данным.

3) При очистке без рециркуляции находят площадь биофильтров  $F_{af} = \frac{Q}{q_{af}}$

При очистке сточных вод с рециркуляцией площадь биофильтров находят по формуле:

$$F_{af} = \frac{Q(K_{rc} + 1)}{q_{af}}$$

Количество избыточной биопленки, выносимой из биофильтров, при её влажности 96% надлежит принимать

- 8 г/(чел·сут) по сухому веществу – для капельных
- 28 г/(чел·сут) по сухому веществу – для высоконагружаемых

#### Расчёт биофильтров с плоскостной загрузкой.

Биофильтр с плоскостной загрузкой, как правило, размещают в закрытом помещении. Допустимое значение БПК<sub>5</sub> поступающих сточных вод при полной биологической очистке 170 мг/л; при неполной очистке — не ограничивается. Рабочая высота принимается  $H_{pf} = 3-4$  м. 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:

- определяется гидравлическая нагрузка  $q_{pf}$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>сут) – в соответствии с необходимым эффектом очистки  $\Theta$ , %, температурой сточных вод  $T_w$ , °С и принятой высотой  $H_{pf}$ , м по справочным данным;
- объем загрузки и площадь биофильтров – по гидравлической нагрузке и расходу сточных вод.

#### *7.7. Погружные биофильтры (дисковые, барабанные), конструкции и их расчет*

Погружные биофильтры имеют признаки биофильтров и аэротенков. Погружной биофильтр состоит из следующих основных частей:

- резервуара;
- пространственной конструкции загрузки, закрепленной на вращающемся горизонтальном валу;
- лотков для распределения поступающей и сбора обработанной сточной воды;
- устройства, с помощью которого приводится во вращение горизонтальный вал.

По виду пространственных конструкций загрузки погружные биофильтры подразделяются на: дисковые, барабанные, шнековые, трубчатые. Наибольшее распространение в практике очистки сточных вод получили дисковые и барабанные.

Достоинства:

- компактны;
- имеют малую энергоемкость;
- просты и надежны в эксплуатации;
- не требуют больших перепадов высот при движении воды;
- выдерживают залповые поступления сточных вод;

- нет необходимости в устройстве рециркуляции сточных вод;
- исключается возможность засыхания биопленки.

Дисковые погружные биофильтры (рис. 9) состоят из дисков диаметром 1-5 м (целесообразно 2-3 м), собираемых в пакеты по 30-180 штук и закрепляемых на вращающемся горизонтальном валу на расстоянии 10-25 мм друг от друга. Диски выполняются из металла, пластмасс, асбестоцемента, тканей; их толщина составляет 1-10 мм. Частота вращения горизонтального вала с пакетом дисков 1-50 мин<sup>-1</sup> (чаще 2-10 мин<sup>-1</sup>); степень погружения дисков в обрабатываемую сточную воду 0,3-0,45 диаметра.

Сточная вода подается в распределительный лоток, а затем в резервуар погружного биофильтра, где пакеты дисков постоянно вращаются с помощью электродвигателей или других устройств. На поверхности дисков закрепляются и развиваются колонии микроорганизмов, образующие биопленку, близкую по видовому составу биопленке биофильтров с объемной и плоскостной загрузкой. При нахождении части поверхности дисков с биопленкой в жидкой фазе осуществляется процесс сорбции на ней нерастворенных, коллоидных и растворенных органических загрязнений, содержащихся в обрабатываемой сточной воде. При повороте пакета дисков биопленка оказывается на воздухе, где происходит интенсивное поглощение кислорода и окисление сорбированных загрязнений. За счет вращения дисков осуществляется также процесс аэрации обрабатываемой сточной воды. Часть биопленки, включая отработавшую, отрывается от поверхности дисков и находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии аналогично хлопьям активного ила. Таким образом, процессы окисления органических загрязнений сточной воды осуществляются как биопленкой на поверхности дисков (аналогично биофильтру), так и активным илом в объеме обрабатываемой воды (аналогично аэротенку).

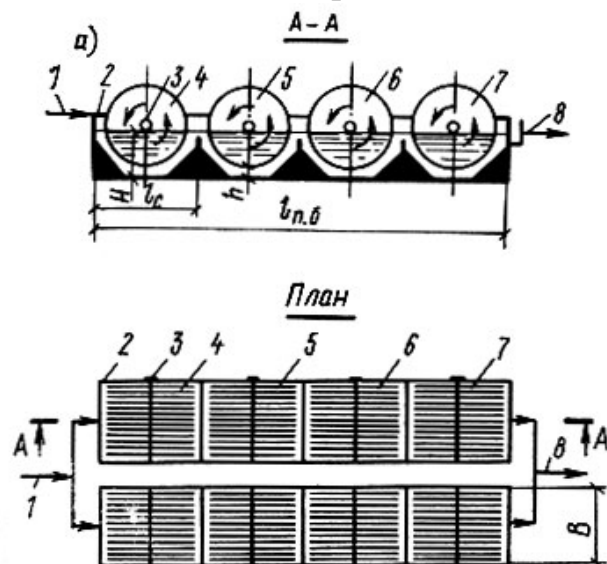


Рисунок 9 - Схема погружного дискового биофильтра:

- 1 - подвод осветленной сточной воды;
- 2 - резервуары;
- 3 - вал с приводом;
- 4-7 - пакеты алюминиевых дисков соответственно первой - четвертой ступени;
- 8 - отвод обработанных сточных вод;
- В - ширина резервуара;
- Н - глубина резервуара;
- l - длина секции;
- l<sub>п.б</sub> - длина погружного биофильтра;
- h - расстояние между дном резервуара и нижней кромкой дисков.

Оптимальная область применения - это комплексы сооружений по очистке сточных вод пропускной способностью 200-1000 м<sup>3</sup>/сут от населенных мест и промышленных объектов. В зависимости от состава сточных вод и необходимой степени очистки число ступеней дисковых погружных биофильтров составляет 1-4 и более, эффективность их работы 50-98%, нагрузка по БПК<sub>полн</sub> на

1 м<sup>2</sup> поверхности дисков до 200 г/(м<sup>2</sup>/сут). Время пребывания сточных вод в резервуаре 0,5-3 ч. Концентрация органических загрязнений в поступающих сточных водах не ограничивается.

Расчет дисковых погружных биофильтров сводится к определению необходимой площади поверхности дисков, их диаметра и числа, частоты вращения пакета дисков, числа ступеней, времени пребывания обрабатываемых сточных вод в резервуаре и др.

Барабанные погружные биофильтры состоят из барабанов, закрепленных на вращающемся горизонтальном валу и заполненных загрузочным материалом. Жесткий корпус барабана обтягивается сеткой или другим материалом, а внутри корпуса помещаются засыпные загрузочные элементы, плоскостные материалы, блочные секции, на поверхности которых развивается биопленка. Барабаны длиной 2-3 м и диаметром 2-2,5 м помещаются в резервуары, куда поступает обрабатываемая сточная вода; частота вращения барабана 0,5-5 мин<sup>-1</sup>; степень погружения барабанов в обрабатываемую сточную воду 0,3-0,45 диаметра (рисунок 10).

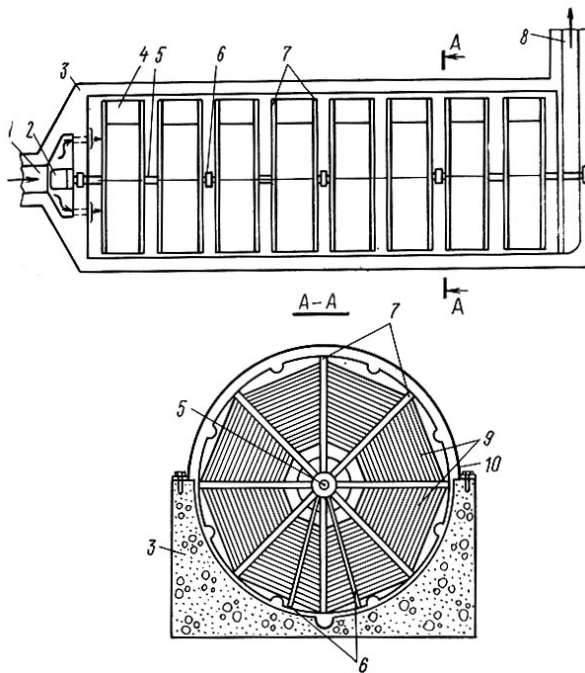


Рисунок 10 - Восьмисекционный погружной барабанный биофильтр:

- 1 - подводящий лоток;
- 2 - электродвигатель с редуктором;
- 3 - бетонный резервуар;
- 4 - секция биофильтра;
- 5 - вал;
- 6 - промежуточная опора со стойками;
- 7 - брусья секции со стержнями;
- 8 - отводящий лоток;
- 9 - гибкая пластмассовая пленка;
- 10 - кожух биофильтра.

Для обеспечения механической прочности внутри барабана устанавливаются ребра жесткости, а также устраиваются поперечные и продольные перегородки, которые делят барабаны на шесть - восемь секторов. В качестве загрузки используются металлические, пластмассовые и асбестоцементные гофрированные, перфорированные и гладкие листы, мягкие тканевые и пленочные материалы, блочные загрузочные элементы из пластмасс, которые крепятся к каркасу барабанного биофильтра. Засыпные элементы из нарезанных пластмассовых труб, различного вида изделий из пластмасс, металла, а также волокнистые материалы заполняют сектор погружного барабанного биофильтра на 60-90% объема. Число секций барабанов на одном горизонтальном валу достигает 8-10.

## Тема 8. Вторичные отстойники.

(Теоретический раздел)

### 8.1. Разделение иловых смесей.

### 8.2. Классификация и конструкции вторичных отстойников, их расчет.

#### 8.1. Разделение иловых смесей.

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.

Иловая смесь, поступающая из аэротенков во вторичные отстойники, представляет собой гетерогенную (многофазную) систему, в которой дисперсионной средой служит биологически очищенная сточная вода, а основным компонентом дисперсной фазы являются хлопья активного ила, диаметром - в пределах 20-300 мкм. Свойство иловой смеси как дисперсной системы - ее агрегативная неустойчивость.

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.

Седиментационные свойства иловых смесей оцениваются по кривой кинетики снижения границы раздела фаз (кривой Кинша), приведенной на рис. 1.

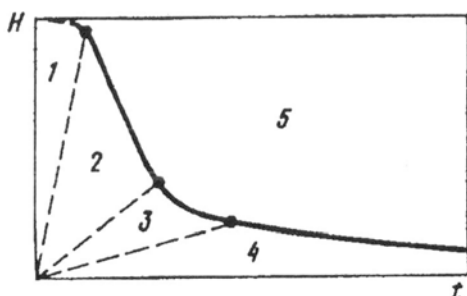


Рисунок 1 - Кривая кинетики снижения границы раздела фаз

Анализ кривой кинетики снижения границы раздела фаз 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 гра-

диента и турбулентной диффузии.

Условия илоразделения во вторичных отстойниках, происходящие в проточном режиме их работы, существенно отличаются от седиментации ила в контактных условиях лабораторных установок.

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

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

### *8.2. Классификация и конструкции вторичных отстойников, их расчет.*

Вторичные отстойники бывают вертикальными, горизонтальными и радиальными. Для очистных станций пропускной способности до 20000 м<sup>3</sup>/сут применяются вертикальные вторичные отстойники, для очистных станций средней и большой пропускной способности (более 15000 м<sup>3</sup>/сут) — горизонтальные и радиальные.

Вертикальные вторичные отстойники по своей конструкции подразделяются на следующие:

- 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 четырехбункерной пирамидальной иловой частью.

Преимуществом вертикальных вторичных отстойников:

- 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.

Недостатки:

- большая глубина, что повышает стоимость их строительства, особенно при высоком уровне стояния грунтовых вод.
- недостаточный уклон стенок бункера - плохое сползание ила к центру днища, приводит к залеживанию осевшего активного ила и развитию в нем анаэробных процессов.

Горизонтальные вторичные отстойники выполняются с шириной отделения 6 и 9 м. Для сгребания осевшего активного ила к иловому приямку в горизонтальных отстойниках используют скребковые механизмы цепного или тележечного типов, также используют подвижные илососы, установленные на тележках.

Достоинства:



- возможность блокировать их с типовыми аэротенками, сокращая при этом площадь, занимаемую очистными сооружениями.

Недостатки:

- сложности эксплуатации в них скребковых механизмов,  
- большая их материалоемкость по сравнению с отстойными сооружениями круглыми в плане, где меньшая толщина применяемых стеновых панелей достигается за счет предварительного напряжения железобетонных конструкций.

Радиальные вторичные отстойники. Разработаны типовые вторичные радиальные отстойники из сборного железобетона ( $d = 18, 24, 30, 40$  и  $50$  м).

Основные отличия вторичных отстойников от первичных заключаются в следующем:

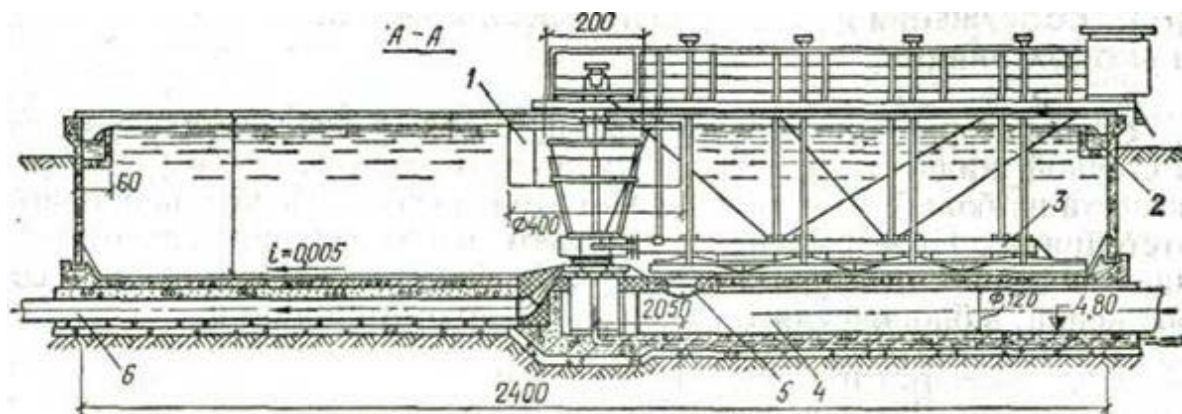
- у вторичных отстойников нет устройства для сбора и удаления масел, нефтепродуктов, и других плавающих веществ;

- как правило, применяется разная система откачки осадка (илососы во вторичных отстойниках на крупных станциях и эрлифты на сооружениях небольшой производительности);

- осадок, или непродолжительно, храниться во вторичных отстойниках, или непрерывно возвращается в аэротенки.

Вторичные отстойники принципиально отличаются от первичных по свойствам веществ, в них отстаивающихся. Сточные воды во вторичных отстойниках находятся, как правило, несколько дольше, чем в первичных, их время отстаивания составляет от 1,5 до 2,5 ч. Время нахождения активного ила во вторичных отстойниках не должно быть более 30-40 мин. Поэтому система удаления ила из вторичных отстойников должна осуществляться круглосуточно, а не периодически,

Вторичный радиальный отстойник показан на рис. 2. Иловая смесь по подводному трубопроводу направляется в центральное распределительное устройство, представляющее собой вертикальную стальную трубу с кониче-



ским раструбом, затопленным ниже горизонта воды в отстойнике.

Рисунок 2 - Вторичный радиальный отстойник из сборного железобетона:  
1 — металлический направляющий цилиндр; 2 — сборный желоб; 3 — илосос; 4 — подводный трубопровод; 5 — люк-лаз; 6 — трубопровод возвратного активного ила;

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.

### Расчет

Вторичные вертикальные, горизонтальные и радиальные отстойники после аэротенков рассчитывают по гидравлической нагрузке воды на поверхность отстойника  $q_{ssa}$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

$$q_{ssa} = \frac{4,5 \cdot K_{set} \cdot H_{set}^{0,8}}{(0,1 \cdot I_i \cdot a_i)^{0,5-0,01 \cdot a_i}}$$

где  $K_{set}$  - коэффициент использования объема зоны отстаивания, зависит от типа отстойника;

$H_{set}$  - рабочая глубина, м;

$a_b$  - концентрации ила в осветленной воде, мг/л;

$a_i$  - концентрации активного ила в аэротенке, г/л;

$I_i$  - иловый индекс,  $\text{см}^3/\text{г}$ .

Определяется площадь вторичных отстойников

$$F_{ssa} = \frac{q_{\text{макс.}}}{q_{ssa}}, \text{м}^2.$$

Принимается число вторичных отстойников (не менее 3) и определяется для радиальных отстойников диаметр  $D$ , для горизонтальных - длина  $L$  и ширина  $B$ .

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{ssa}}{\pi \cdot n}}, \text{м}, \quad L = \frac{F_{ssa}}{B \cdot n}, \text{м}$$

Вторичные отстойники после биофильтров рассчитывают по нагрузке воды на их поверхность  $q_{ssb}$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :

$$q_{ssb} = 3,6 \cdot K_{set} \cdot u_0$$

где  $u_0$  - гидравлическая крупность биопленки, при полной биологической очистке равная 1,4 мм/с;

$K_{se}$  — коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от типа отстойника.

Площадь поверхности отстойников  $F_{ssb}$ ,  $\text{м}^2$ , определяют с учетом рециркуляционного расхода

$$F_{ssb} = \frac{Q_{\text{час}}^{\text{max}} (K_{rc} + 1)}{q_{ssb}} \quad F_{ssb} = \frac{Q_{\text{час}}^{\text{max}}}{q_{ssb}}$$

где  $Q_{\text{час}}^{\text{max}}$  - максимально часовой расход сточных вод;

$K_{rc}$  — коэффициент рециркуляции.

## Тема 9. Методы очистки сточных вод от биогенных элементов.

(Теоретический раздел)

### 9.1. Актуальность проблемы удаления азота и фосфора из сточных вод.

### 9.2. Формы азота в сточной воде. Формы фосфора в сточной воде.

### 9.3. Биологический метод удаления азота.

### 9.4. Методы удаления фосфора.

### 9.5. Совместное биологическое удаление азота и фосфора.

#### *9.1. Актуальность проблемы удаления азота и фосфора из сточных вод.*

К биогенным элементам относятся вещества, входящие в состав организмов и имеющие определенное биологическое значение, в том числе азот, фосфор, сера, кремний, железо, калий, медь, кобальт и др. Наиболее важными биогенными элементами для физиологического развития активного ила следует признать азот, фосфор, серу, железо. Это так называемые макробиогенные вещества в значительных количествах накапливающиеся в биомассе активного ила – до 6-8% азота и 2% фосфора в сухой массе активного ила. Такие элементы как калий, магний, кальций, молибден, марганец, медь и кобальт называются микробиогенными элементами.

Поступление большого количества азота и фосфора в водоемы приводит к их эвтрофикации. В связи с глобализацией проблемы эвтрофикации водоемов постоянно возрастает необходимость удаления азота и фосфора из городских сточных вод.

**Эвтрофикация** – рост биологической растительности водоемов, вследствие нарушения баланса питательных веществ. При этом: повышается температура и рН воды, снижается концентрация кислорода в воде, появляются привкусы и запахи, ухудшается цвет воды, чрезмерно развиваются водоросли, преобладают непитательные виды планктона, нарушается жизнедеятельность рыб.

#### *9.2. Формы азота в сточной воде. Формы фосфора в сточной воде.*

Азот, поступающий со сточными водами на очистные сооружения, находится в виде органических и неорганических соединений.

Органический азот в городских сточных водах является компонентом органических соединений, главным образом белков, пептидов, аминов, амидов, аминокислот и их производных.

Неорганические соединения азота в сточных водах, поступающих на очистку, представлены восстановленными формами  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NH}_3$  (ион аммония и растворенный аммиак) и окисленными формами  $\text{NO}_2$  и  $\text{NO}_3$  (нитриты и нитраты).

Понятие «общий азот» (TN) включает в себя сумму концентраций общего азота по Кьельдалю, азота нитратов и азота нитритов. Общий азот по Кьельдалю (TKN) состоит из аммонийного азота и органического азота.

Фосфаты подразделяют по химическим свойствам на органические и неорганические. Неорганические фосфаты представляют собой соли кислородных кислот фосфора и подразделяются на ортофосфаты (соли ортофосфорной

кислоты  $\text{H}_3\text{PO}$ ) и конденсированные фосфаты (соли полифосфорных кислот).

Органические фосфаты по физическим характеристикам подразделяются на растворенные и нерастворенные фракции. Не все органические фосфаты способны к биоразложению микроорганизмами. Фосфаты, способные к биоразложению, относятся к биоразлагаемым фосфатам, не способные к биоразложению — к бионеразлагаемым.

Понятие «общий фосфор» (TP) представляет собой сумму концентраций фосфора, содержащегося во всех фосфатах, присутствующих в сточных водах.

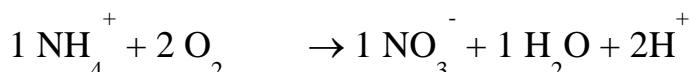
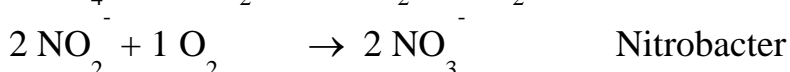
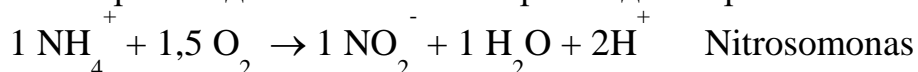
Основная часть фосфора находится в городских сточных водах и растворенной форме — около 50 % в виде полифосфатов. Только порядка 10...20 % общего фосфора находится в нерастворенном виде.

### 9.3. Биологический метод удаления азота.

Основные методы удаления азота из сточных вод — это реализация процессов нитрификации и денитрификации, для которых необходимо создание специфических условий непосредственно в сооружениях биологической очистки.

**Нитрификация** представляет собой процесс биологического окисления аммония до нитритов и далее нитритов — до нитратов.

Процесс нитрификации представляет собой двухстадийный процесс. В ходе первой стадии бактерии рода *Nitrosomonas* осуществляют биологическое окисление аммония до нитритов, а на второй стадии с помощью бактерий рода *Nitrobacter* происходит окисление нитритов до нитратов:



Факторы, влияющие на эффективность процесса:

- Концентрация растворенного кислорода. Концентрация растворенного кислорода 2,0...2,5 мг/л является
- Температура сточных вод. Допустимая температура - 9-35<sup>0</sup>С, оптимальная – 15-30<sup>0</sup>С.
- Возраст активного ила составляет 10-20 сут при 10<sup>0</sup>С, 4-7 сут при 20<sup>0</sup>С.
- Оптимальный уровень рН 7,0...8,5.
- Ингибирующие вещества оказывают более сильное действие на нитрифицирующие микроорганизмы, чем на гетеротрофные бактерии. Тяжелые металлы (медь, хром, никель, кобальт, цинк), токсичные органические примеси (фенол, хлороформ) должны присутствовать в концентрациях не ингибирующих процесс нитрификации.
- Выработка кислоты. Нитрификация понижает щелочность воды.

**Денитрификация** представляет собой микробиологический процесс вос-

становления окисленных соединений азота (нитратов, нитритов) до молекулярного азота (в некоторых случаях — до  $N_2O$ ) и окисления органического вещества при этом до углекислоты.

Процесс денитрификации описывается следующей схемой:



Для реализации процесса денитрификации в сооружениях биологической очистки сточных вод необходимо создать строго анаэробные условия.

Факторы, влияющие на эффективность процесса:

- Органический субстрат. Денитрификационный потенциал  $BPK_5/N_{общ} > 4$  (3,5 – 8,0). Возможно дозирование внешнего источника углерода (метанол, этанол, уксусная кислота).
- Растворенный кислород - отсутствие растворенного  $O_2$ .
- pH – оптимальные значения pH=7-9. Понижение pH <7 приводит к увеличению выхода оксида азота  $N_2O$ . Денитрификация, в противоположность нитрификации, увеличивает щелочность среды
- Температура воды оптимальная 10-35<sup>0</sup>С.
- Наличие и достаточно высокое содержание нитритов и нитратов, образующихся в результате эффективной нитрификации.
- Токсичные вещества угнетают процессы денитрификации.

Схемы реализации процессов нитри- и денитрификации.

Схема с предвключенной денитрификацией



В данной схеме сточная вода, содержащая органический субстрат и аммонийный азот, поступает в анаэробную зону, куда также поступает возвратный активный ил из вторичных отстойников (ВО). Нитраты, образующиеся в аэробной зоне аэротенка в ходе процесса нитрификации, поступают в анаэробную зону с потоком возвратного активного ила. В результате в анаэробной зоне создаются условия для реализации процесса денитрификации, то есть происходит восстановление нитратов  $NO_3^-$  и нитритов  $NO_2^-$ , до газообразного азота  $N_2$ . Аммонийный азот, содержащийся в поступающей на биологическую очистку сточной воде, проходит анаэробную зону транзитом (за исключением части азота, потребляемого на прирост биомассы в анаэробных условиях) и поступает в аэробную зону сооружения, где происходят процессы нитрификации. В результате образуются нитриты и затем нитраты. Органические соединения, содержащиеся в сточных водах, окисляются в анаэробной зоне связанным кислородом нитратов, а оставшаяся часть доокисляется в аэробной зоне.

В схеме с предвключенной денитрификацией эффективность денитрифи-

кации ограничена количеством нитратов, поступающих в аноксидную зону с потоком возвратного активного ила.

### Модифицированная схема с предвключенной денитрификацией



В схеме MLE основным отличием от схемы Ludzack — Ettinger является наличие нитратного рецикла иловой смеси из аэробной зоны аэротенка в аноксидную. Это позволяет обеспечить в аноксидной зоне необходимое количество нитратов, которые требуется удалить из системы для обеспечения качества очищенной воды по  $\text{NO}_3$ . В данной схеме отсутствует лимитирование эффективности удаления нитратов количеством нитратов, подаваемых с рециклом возвратного активного ила. Данная схема является одним из наиболее надежных и энергоэффективных технологических решений реализации процессов нитри-денитрификации.

### Схема с пост-денитрификацией



Денитрификация осуществляется после удаления основного количества органического субстрата и процесса нитрификации в аэробной зоне. В данной схеме в зону денитрификации поступает иловая смесь, обедненная органическими веществами, которые необходимы для процесса денитрификации. В этом случае источниками органического субстрата для реализации процесса денитрификации являются продукты эндогенного распада биомассы активного ила и внешний источник углерода (метанол, этанол, меласса, глицерин и т. д.).

Преимущество схемы с пост-денитрификацией над схемой с предвключенной денитрификацией — отсутствие нитратного рецикла.

#### 9.4. Методы удаления фосфора.

При работе городских очистных сооружений, запроектированных только на окисление органических соединений и удаление взвешенных веществ, количество удаляемого фосфора составляет порядка 20-40%, т.е. обеспечить глубо-

кое удаление фосфора не представляется возможным.

Для обеспечения требуемых концентраций фосфора в очищенной воде необходима реализация на очистных сооружениях специальных технологических и конструктивных решений удаления фосфора. В настоящее время наиболее широкое распространение получили следующие методы очистки сточных вод от соединений фосфора: химический, биологический, комбинированный (биолого-химический).

### Биологическое удаление фосфора.

Процесс биологического удаления фосфора осуществляется гетеротрофами - фосфатаккумулирующими микроорганизмами (ФАО), которые разнообразны, при этом наиболее исследованы *Acinetobacter*. Данные бактерии могут поглотить больше фосфатов, чем они бы использовали для своего роста, и сохранить в виде полифосфатов. Такое может происходить, когда бактерии непрерывно колеблются между анаэробными и аэробными условиями. Метод биологической дефосфотации заключается в подготовке бактерий в анаэробных условиях к повышенному потреблению и накоплению фосфора в последующей аэробной стадии (рис. 1).

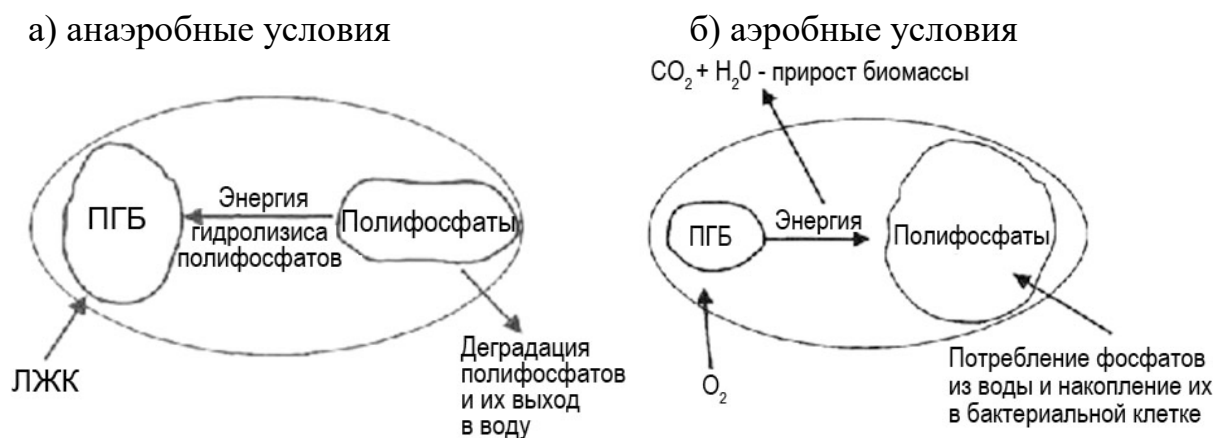


Рисунок 1 - Процесс накопления и отдачи полифосфатов в воду клеткой *Acinetobacter* при смене анаэробных (а) и аэробных (б) условий

Факторы, влияющие на эффективность процесса:

- Органический субстрат. Благоприятное соотношение БПК<sub>5</sub> / P<sub>общ</sub> (30:1).
- Концентрация летучих жирных кислот. Высокое содержание ЛЖК (> 100 мг/л) или добавление ЛЖК в виде метанола.
- pH среды. Оптимальный диапазон значений pH в анаэробных условиях равен 7,0...9,0.
- Возраст активного ила. Оптимальный возраст ила 3-20 сут.
- Температура. В большинстве случаев эффективность процессов высвобождения и поглощения фосфора у фосфатаккумулирующих бактерий повышается с повышением температуры.
- Нитраты и нитриты. При попадании нитратов и нитритов в анаэробную зону сооружения глубокого биологического удаления фосфора происходит угнетение и даже срыв процесса биологического удаления фосфора. Нитраты

и/или нитриты поступают в анаэробную зону со сточной водой, возвратным активным илом и внутренними рециклами. Отношение ХПК/N-NO<sub>3</sub> >6, если менее, то необходимо использовать дополнительный источник углерода (ацетат).

- Отсутствие O<sub>2</sub> в анаэробной зоне
- Концентрация растворенного кислорода в аэробной зоне должна составлять 2,0-4,0 мг/л.

Преимущества биологического удаление фосфора:

- Отсутствие необходимости в использовании дополнительных реагентов (флокулянтов)

- Снижение содержания солей в очищенном стоке ОСК
- Меньшее количество дополнительно образующегося осадка
- Отсутствие дополнительных тяжелых металлов в осадке
- Отсутствие факторов, которые могут помешать процессу нитрификации

Недостатки биологического удаление фосфора:

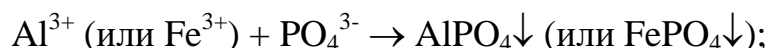
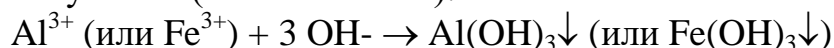
- Более высокие инвестиционные расходы на сооружение анаэробного резервуара
- Немного более нестабильный процесс, часто требуется дополнительное добавление реагентов

### **Химическое удаление фосфора.**

В качестве реагентов для удаления фосфатов из сточных вод могут применяться соли железа и алюминия (хлорид железа, сульфат железа, сульфат алюминия), известь (оксид и гидроксид кальция).

Сущность метода: взаимодействие ионов реагента с растворимыми солями фосфорной кислоты с образованием мелкодисперсного осадка фосфата. Одновременно реагент реагирует со щелочами, образуя осадок из крупных хлопьев. Этот осадок коагулирует мелкодисперсный осадок фосфатов и взвешенных веществ. Далее осадок выводится из системы

Коагулянты (соли металлов):



Al:P (molar): 1,4, 1,7, 2,3 ⇒ удаление P 75 %, 85 %, 95 %

Дозу железосодержащих реагентов для осаждения фосфора следует принимать из соотношения 2,7 кг Fe на 1 кг фосфора, подлежащего химическому осаждению. Дозу алюминиевых реагентов для осаждения фосфора следует принимать из соотношения 1,3 кг Al на 1 кг фосфора, подлежащего химическому осаждению.

Эффективность химического удаления фосфора зависит от следующих факторов:

- стехиометрической дозы реагента;
- β-фактора — коэффициента, учитывающего превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1 моля фосфора, моль/моль, над расчетным стехиометрическим количеством;



- значения рН среды;
- реализации процессов разделения фосфорного осадка и водной среды.

В зависимости от места дозировки коагулянта могут быть выделены различные виды методов осаждения (пред-осаждение, одновременное осаждение, пост-осаждение) (рис. 2).



Рисунок 2 - Различные методы осаждения

Процесс пред-осаждения, является наиболее экономически неэффективным как с точки зрения эксплуатационных затрат, так и с точки зрения качества очищенной воды по фосфору фосфатов ( $\beta=2-3$ , до 1,0 мг/л по  $P-PO_4$ ).

Наименее затратным с точки зрения количества требуемого реагента является процесс симультанного (одновременного) осаждения. При реализации данного процесса реагент подается или в сточную воду перед аэротенками, или непосредственно в аэротенки, или в поток возвратного активного ила ( $\beta=1,2-1,5$ , до 0,2 мг/л по  $P-PO_4$ ).

Процесс пост-осаждения позволяет достичь концентрации фосфора фосфатов очищенной воды менее 0,1 мг/л ( $\beta=2-2,5$ ). Реагент при реализации данного процесса дозируется в очищенную воду после вторичных отстойников. Для отделения фосфорного осадка в данном случае необходимо применение сооружений доочистки от взвешенных веществ.

### 9.5. Совместное биологическое удаление азота и фосфора.

Биологический метод удаления азота и фосфора базируется на традиционной биологической очистке с сочетанием аэробных и анаэробных процессов. Метод реализуется путем искусственного создания различных зон, которые по степени обеспеченности кислородом подразделяются на 3 основные: аэробная, аноксидная, анаэробная.

**Аэробная зона** – удаление органических загрязнений с последующей нитрификацией.

**Аноксидная зона** – зона активной денитрификации.

**Анаэробная зона** - продолжается процесс денитрификации и идет накопление биомассы организмов, способных откладывать полифосфаты в своих клетках, а также стимулируется их способность поглощать фосфаты в последующей вторичной аэробной зоне. Содержание фосфатов на этой стадии в сточных водах повышается, а количество нитратов и нитритов сокращается.

**Вторичная аэробная зона** – иловая смесь аэрируется, идет жадное поглощение фосфатов активным илом и интенсивное изъятие их из очищенных

вод.

В настоящее время существует большое количество способов организации технологического процесса биологической очистки с целью удаления азота и фосфора. Основными схемами биологической очистки с удалением азота и фосфора являются: АА/О - процесс, Phoredox (Phosphorus, redox, oxidation), так же известна под названием Phoredox modification, УСТ - процесс (University of Cape Town), JNB (Johannesburg) и др.

Процесс Phoredox (pho — фосфор, red (reduction) снижение, ox — оксидация) (рис. 3). Первая - анаэробная стадия с коротким периодом пребывания сточных вод (1-3 ч), в которой обеспечивается рост и функционирование фосфорнакапливающих бактерий и стимулируется жадное потребление фосфора в последующей аэробной стадии. Далее следует аноксидная стадия, в которой осуществляется денитрификация. В эту зону подаются сточные воды, используемые для денитрификации как источник углерода, и иловая смесь после нитрификатора, которая содержит нитриты и нитраты. Затем следует аэробная стадия, где происходит снижение содержания органических загрязняющих веществ в очищаемых сточных водах и нитрификация, а также дефосфотация. Смесь ила из этой зоны, содержащая нитраты, подается в предыдущую аноксидную зону денитрификации. Изъятие общего фосфора может достигать до 95 %.

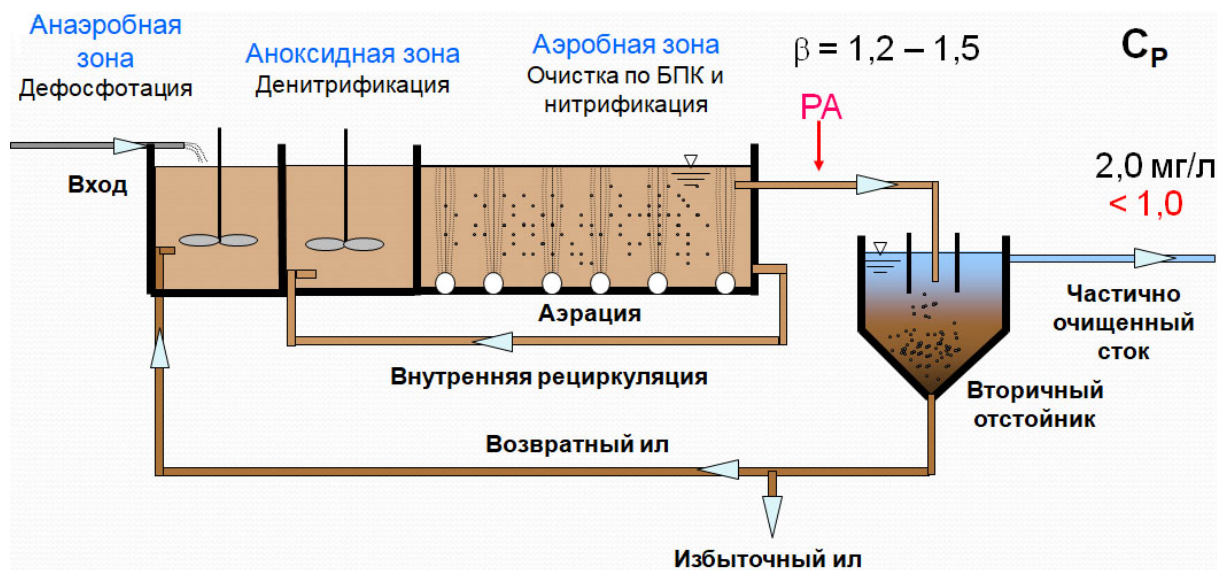


Рисунок 3 - Процесс Phoredox

## Тема 10. Биологическая очистка сточных вод в естественных условиях.

(Теоретический раздел)

### 10.1. Сущность метода почвенной очистки сточных вод.

### 10.2. Поля орошения и поля фильтрации, их классификация. Методы расчета и устройства полей орошения и полей фильтрации.

### 10.3. Биологические пруды, устройство и их расчет.

#### *10.1. Сущность метода почвенной очистки сточных вод.*

Для биологической очистки сточных вод в естественных условиях применяют поля фильтрации, поля орошения и биологические пруды.

На полях фильтрации и полях орошения реализуется метод почвенной очистки сточных вод, основанный на способности самоочищения почвы.

Сущность процесса очистки состоит в том, что при фильтрации сточных вод через почву в верхнем ее слое задерживаются взвешенные и коллоидные вещества, образующие на поверхности частичек почвы густозаселенную микроорганизмами пленку. Эта пленка адсорбирует на своей поверхности растворенные органические вещества, находящиеся в сточных водах. Используя кислород, проникающий из атмосферы в поры почвы, микроорганизмы переводят органические вещества в минеральные соединения. Слой почвы, в котором происходит этот процесс 0,2—0,3 м. находятся в более благоприятных условиях, то именно в этих слоях и происходят наиболее интенсивное окисление органических веществ и процесс нитрификации. По мере углубления количество кислорода в почве быстро уменьшается и, наконец, наступает зона анаэробно-за, где окисление органических веществ, проникающих сюда в виде растворов, происходит только за счет процесса денитрификации, так как в зону анаэробно-за сточные воды попадают с большим запасом нитритов.

#### *10.2. Поля орошения и поля фильтрации, их классификация. Методы расчета и устройства полей орошения и полей фильтрации.*

Отличаются поля орошения от полей фильтрации тем, что на полях орошения выращиваются овощи, злаки, плодовые и декоративные деревья и кустарники, технические культуры и т.п., утилизируя тем самым биогенные элементы (азот, фосфор, калий и др.), а поля фильтрации служат только для очистки сточных вод.

Различают следующие виды полей орошения:

1. Коммунальные поля орошения, главной задачей которых является очистка сточных вод, а использование для сельскохозяйственных целей играет вспомогательную роль.

2. Сельскохозяйственные поля орошения, на которых использование сточных вод для сельского хозяйства и их очистка представляют единое целое.

Применение полей фильтрации допускается для очистки сточных вод при их расходе, не превышающем 200 м<sup>3</sup>/сут, отводимых от объектов, расположенных вне населенных пунктов, в случаях, если дальность транспортирования

очищенных сточных вод до водотока-приемника превышает 1 км.

Перед подачей сточных вод на поля фильтрации необходимо предварительное отстаивание сточной воды, позволяющее выделить из нее 50—60% общего числа бактерий вместе с крупными взвешенными веществами в осадок. При расходе до 20 м<sup>3</sup>/сут механическая очистка в септиках, при расходе более 20 м<sup>3</sup>/сут в состав сооружений могут входить решетки, песколовки, двухъярусные отстойники. Продолжительность отстаивания сточных вод перед поступлением их на поля фильтрации следует принимать не менее 30 мин.

Поля фильтрации представляют собой отдельные участки, спланированные горизонтально или с небольшим уклоном и ограниченные по периметру земляными валиками. Поля фильтрации разбиваются на карты, площадь одной карты не более 1,5 га.

Площадки для полей фильтрации необходимо выбирать со спокойным и слабовыраженным рельефом с уклоном до 0,02. Оптимальные грунты - пески, супеси и легкие суглинки.

Сточные воды поступают на карты полей фильтрации по системе открытых каналов и лотков, называемых оросительной сетью, состоящей из магистральных, распределительных и картвых оросителей.

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

В зависимости от характера грунтов дренажную сеть устраивают в виде открытых осушительных канав или закрытого дренажа. В слабопроницаемых грунтах (суглинках) устраивают закрытый дренаж, в сильнопроницаемых грунтах (песок, супесь) его или не устраивают, или устраивают открытые осушительные каналы.

Сточные воды после полей фильтрации не загнивают, БПК очищенной воды 10-15 мг/дм<sup>3</sup>, количество бактерий уменьшается на 99,9% по сравнению с исходной водой.

Полезная площадь полей фильтрации определяет по среднесуточной нагрузке:

$$F = Q/q, \text{ га}$$

где Q - приток сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

q - нагрузка сточных вод на поля фильтрации, м<sup>3</sup>/га в сут.

Для устройства валиков, оросительной и осушительной сетей, дорог, въездов и т.д. принимается дополнительная площадь, составляющая 25-35% от полезной площади.

Недостатки:

- накопление в почве биологически неокисляемых загрязнений;
- попадание в почву компонентов губительно влияющих на почвенную флору и фауну;
- растущая стоимость и трудность приобретения земельных участков во-

круг населенных пунктов.

### 10.3. Биологические пруды, устройство и их расчет.

Биологические пруды – искусственно созданные водоемы для биологической очистки сточных вод, основанной на процессах самоочищения водоемов.

Биологические пруды устраиваются следующих типов:

- для биологической очистки отстоенных сточных вод;
- для доочистки биологически очищенных сточных вод.

По характеру аэрации биопруды могут быть с искусственной и естественной аэрацией.

Применяются биопруды при следующих условиях

Вид обработки сточных вод	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут	БПК <sub>5</sub> исходной воды, мг/дм <sup>3</sup>	Взвешенные вещества в исходной воде, мг/дм <sup>3</sup>
1) очистка сточных вод - с естественной аэрацией - с искусственной аэрацией	до 5 000 до 15 000	до 130 до 330	до 150 до 150
1) доочистка сточных вод - с естественной аэрацией - с искусственной аэрацией	до 10 000 не ограничен	до 25 до 50	- -

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

Биологические пруды следует устраивать на нефилтрующих или слабофилтрующих грунтах.

Биологические пруды следует располагать с подветренной по отношению к жилой застройке стороны господствующего направления ветра в теплое время года. Направление движения воды в пруде должно быть перпендикулярным к господствующему направлению ветра.

Биологические пруды следует проектировать не менее чем из двух параллельных секций с тремя — пятью 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. В прудах с искусственной аэрацией отношение сторон секций может быть любым. Глубина пруда с естественной аэрацией принимается 0,5 – 1 м, с искусственной аэрацией до 3,5 – 4 м.

Искусственная аэрация биологических прудов позволяет значительно интенсифицировать процессы биохимической очистки сточных вод, увеличить глубину пруда до 3-4 м, что стабилизирует процесс и позволяет сделать биопруды значительно компактнее. Искусственная аэрация осуществляется механическим или пневматическим способом.

Общее снижение концентрации загрязнений по БПК<sub>5</sub> может достигать 60-98%, а по взвешенным веществам 90-98%.

Исходными данными для расчета биопруда является начальное и конечное БПК<sub>5</sub>, температура воды. Определяется время пребывания воды, объем биопрудов, площадь и глубина.

Для повышения глубины очистки сточной воды и снижения содержания в ней биогенных элементов (азота и фосфора) рекомендуется применение в пруде высшей водной растительности (ВВР) — камыш, рогоз, тростник, рдест, водный гиацинт, телорез и др. Высшая водная растительность должна быть размещена в последней секции пруда.

Высшие водные растения в прудах выполняют следующие основные функции:

- 1) фильтрационную (способствуют оседанию взвешенных веществ);
- 2) поглотительную (поглощение биогенных элементов и некоторых органических веществ);
- 3) накопительную (способность накапливать некоторые металлы и органические вещества, которые трудно разлагаются);
- 4) окислительную (в процессе фотосинтеза вода обогащается кислородом);
- 5) детоксикационную (растения способны накапливать токсичные вещества и преобразовывать их в нетоксичные).

Поскольку ВВР является конкурентом одноклеточных и мелких водорослей по изъятию из водной среды биогенных элементов и других загрязнений культивирование ВВР предпочтительнее. Это объясняется тем, что ВВР очень быстро развивается, следовательно, потребляет большое количество питательных веществ, изымая их из воды. Вместе с тем, ВВР легче удалить из биопруда (например, специальными плавающими понтонными косилками), чем мелкие водоросли, что предотвращает вторичное загрязнение водоема, обусловленное разложением отмершей растительной биомассы.

В этих прудах по определенной схеме высаживают такие водные культуры, как камыш, тростник, рогоз, рдест, водный гиацинт, аир болотный, телорез и другие, которые занимают 30–40% акватории. Сточные воды находятся в прудах 5 – 7 суток – это время, за которое происходит максимальная очистка воды от загрязнений.

Процессы самоочищения воды при участии высших водных растений протекают в течение всего года эксплуатации биопрудов. В период вегетации изъятие загрязнений выполняют стебли и листва ВВР, а в холодный период – их корневая система. Процессы, ведущие к уменьшению содержания загрязняющих веществ в воде летом и зимой, происходят благодаря выделению ВВР атомарного кислорода, продуктов метаболизма биологически активных веществ и других факторов самоочищения.

## Тема 11. Методы и сооружения для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод.

(Теоретический раздел)

### 11.1. Методы удаления взвешенных веществ.

### 11.2. Микрофльтрация. Фильтры, их конструкции и расчет.

#### *11.1. Методы удаления взвешенных веществ.*

Сооружения применяются для обеспечения более глубокой очистки городских и производственных сточных вод и их смеси, прошедших биологическую очистку, а также для производственных сточных вод после механической, химической или физико-химической очистки перед отведением в водные объекты или повторным использованием их в производстве или сельском хозяйстве.

Методы для глубокой очистки сточных вод:

- 1) процеживание на сетчатых барабанных фильтрах,
  - 2) фильтрование через фильтры с зернистой загрузкой различных конструкций,
  - 3) биологическая очистка на биологических прудах,
  - 4) насыщение сточных вод кислородом
- и другие методы и сооружения при соответствующем обосновании.

Выбор типа сооружений следует производить с учетом качества исходных сточных вод, требований степени очистки, наличия фильтрующих материалов.

#### *11.2. Микрофльтрация. Фильтры, их конструкции и расчет.*

##### Процеживание на сетчатых барабанных фильтрах

*Барабанные сетки:* а) для механической очистки сточных вод от грубодисперсных примесей (исходное содержание взвешенных веществ – 250 мг/л, отсутствие в воде смол, жиров, масел, нефтепродуктов).

б) в схемах доочистки сточных вод перед фильтрами с зернистой загрузкой (выделение крупных плавающих примесей)

$$\mathcal{E}_{\text{ВЗВ.В.}} - 20-25\% \quad \mathcal{E}_{\text{БПК}_{\text{полн}}} - 5-10\%$$

*Микрофильтры* – для доочистки сточных вод от взвешенных веществ и частично коллоидальных частиц, начальная концентрация взвешенных веществ <40 мг/л.

$$\text{При } C_{\text{взв.в.}}^{\text{исх}} = 15-20 \text{ мг/л } \mathcal{E}_{\text{ВЗВ.В.}} - 40-50\%$$

$$\text{При } C_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{исх}} = 15-20 \text{ мг/л } \mathcal{E}_{\text{БПК}_{\text{полн}}} - 30-40\%$$

$$\text{При } C_{\text{взв.в.}}^{\text{исх}} = 20-40 \text{ мг/л } \mathcal{E}_{\text{ВЗВ.В.}} - 50-70\%$$

$$\text{При } C_{\text{БПК}_{\text{полн}}}^{\text{исх}} = 20-40 \text{ мг/л } \mathcal{E}_{\text{БПК}_{\text{полн}}} - 40-50\%$$

##### Фильтрование через фильтры с зернистой загрузкой

Данный процесс очистки определяется двумя параллельно протекающими явлениями:

- 1) задержание в фильтрующей загрузке частиц вынесенных из вторичных отстойников;

2) минерализация растворенных органических веществ с помощью накапливающихся в загрузке фильтров микроорганизмов активного ила.

Применяются следующие конструкции фильтров:

- однослойные с восходящим и нисходящим потоком жидкости,
- двухслойные,
- фильтры с плавающей загрузкой (ФПЗ) из вспененного полистирола,
- каркасно-засыпные фильтры (КЗФ).

В качестве фильтрующего материала: кварцевый песок, гравий, гранитный щебень, гранулированный доменный шлак, антрацит, керамзит, полимеры, а также другие зернистые загрузки, обладающие необходимыми технологическими свойствами, химической стойкостью и механической прочностью.

Расчетные параметры фильтров с зернистой загрузкой для глубокой очистки сточных вод после биологической очистки следует принимать по нормативной литературе.

Каркасно-засыпные фильтры (рис.1).

Конструкция каркасно-засыпного фильтра (КЗФ) аналогична конструкции скорого фильтра с нисходящим движением воды и низким отводом промывной воды.

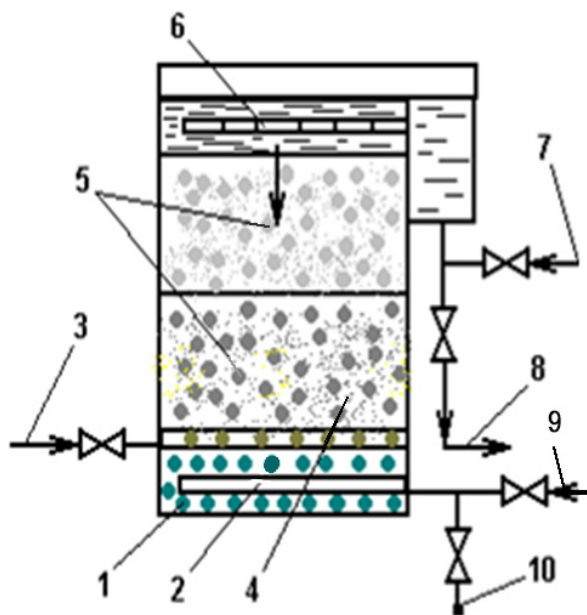


Рисунок 1 - Схема каркасно-засыпного фильтра

- 1- поддерживающий слой из гравия;
- 2- водораспределительная система
- 3- подача воздуха при промывке;
- 4- песчаная засыпка;
- 5 – гравийный каркас;
- 6 – трубочная система для подачи исходной и отведения промывной воды;
- 7 – подача исходной воды;
- 8 – отвод промывной воды;
- 9 – подача промывной воды;
- 10 – отвод очищенной воды.

Высота поддерживающего слоя из гравия 0,5 м, крупность зерен – 1-40 мм.

Загрузка состоит из каркаса (гравий или щебень) крупность зерен – 40-60 мм и засыпки из песка крупность зерен – 0,8-1 мм. Высота гравийной загрузки – 1,8 м, а нижней песчано-гравийной части – 0,9 м. Высота слоя воды над загрузкой - 2 м.

Скорость фильтрования – 10 м/ч (при форсированном режиме – 15 м/ч). Потери напора – 2-3 м. Продолжительность фильтроцикла – 20 ч. Промывка – водовоздушная.

Эффект удаления взвеси активного ила – 80%, при исходной концентрации до 20 мг/л, эффект снижения БПК<sub>5</sub> до 70% при начальной БПК<sub>5</sub> – 10-15 мг/л.



Особенность: гравийный каркас задерживает крупные частицы в количестве до 20-40%, выравнивает нагрузку по взвешенным веществам, обеспечивая более однородный дисперсный состав веществ, поступающих во второй слой, т.е. работает как двухслойный.

Достоинства:

- работает в режиме беспленочной фильтрации;
- хорошая регенерация фильтра при промывке (заключается в отмывке частиц песка и оттирании поверхности зерен каркаса песком, перемещающимся в порах неподвижного каркаса);
- меньшие потери напора;
- повышенная грязеёмкость.

## Тема 12. Обеззараживание и выпуск сточных вод.

(Теоретический раздел)

### 12.1. Методы обеззараживания сточных вод.

### 12.2. Обеззараживание жидким хлором.

### 12.3. Смесители, контактные резервуары, их конструкции и расчет.

### 12.4. Классификация выпусков. Выпуск очищенных сточных вод в водотоки. Конструкции выпусков.

#### *12.1. Методы обеззараживания сточных вод.*

Обеззараживание производится с целью уничтожения оставшихся в сточных водах патогенных бактерий и устранения опасности заражения воды водоема.

После механической очистки количество бактерий снижается на 30-40%, после биологической на аэротенках и биофильтрах - на 90-95%, после полей орошения и фильтрации – на 99%. Следовательно, для полного освобождения необходимо применять специальные методы обеззараживания.

Классификация методов:

- термический;
- с помощью сильных окислителей;
- воздействием ионов благородных металлов (ионы серебра);
- физический (ультразвук, ультрафиолетовые лучи, радиоактивное излучение).

Выбор метода зависит от:

- качества и количества сточных вод;
- эффективности предварительной очистки;
- условий поставки, транспортирования и хранения реагентов.

Наибольшее распространение получил способ обеззараживания с помощью сильных окислителей. К сильным окислителям относятся: хлор, хлорная известь, озон, марганцево-кислый калий, пероксид водорода, гипохлорит натрия и кальция.

Хлор, добавляемый к сточной воде, должен быть тщательно перемешан с ней, затем находиться в контакте не менее 30 минут. Остаточный хлор должен быть не менее 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Установка для хлорирования воды состоит из хлораторной, смесителя и контактного резервуара.

Расчетные дозы активного хлора:

- после механической очистки — 10 мг/дм<sup>3</sup>;
- после биологической, физико-химической и глубокой очистки — 3 мг/дм<sup>3</sup>.

#### *12.2. Обеззараживание жидким хлором.*

Жидкий хлор практически нерастворим в воде, поэтому для того, чтобы произвести хлорирование воды, необходимо жидкий хлор испарить.

Под действием окружающего тепла хлор в баллонах постепенно испаряется и в виде газа поступает в промежуточный баллон, где освобождается от капель

жидкого хлора и механических примесей. Далее хлор-газ поступает в хлоратор, который является дозатором. После чего хлор-газ смешивается с водой и засасывается эжектором, и в виде хлорной воды вводится в обрабатываемую воду.

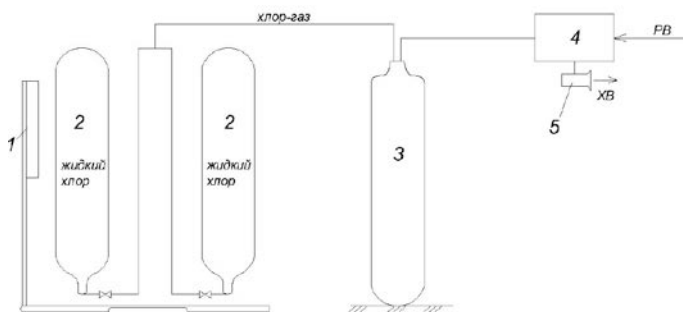


Рисунок 1 – Принципиальная схема хлораторной установки с баллонами.

- 1 – весы (2-4-6-8-10 баллонов);
- 2 – баллоны с жидким хлором;
- 3 – промежуточный баллон (грязевик);
- 4 – хлоратор;
- 5 – эжектор;

В соответствии с приведенной выше схемой можно выделить следующие основные технологические процессы и оборудование: весы, емкости для хранения хлора, испарители, промежуточный баллон и дозаторы хлора.

Весы – для контроля за расходом хлора из установленной на них тары. Бывают электронные, гирные и циферблатные.

Емкости для хранения – в хлораторных с расходом от 12 до 50 кг/сут - применяются баллоны емкостью 40-55 л, вмещающие 50-69 кг жидкого хлора;  
> 50 кг/сут – в бочках емкостью от 400 до 1000 л, вмещающие от 500 до 1250 кг жидкого хлора.

Испарители. При производительности более 20 кг/сут устанавливаются специальные испарители хлора, т.к. жидкий хлор не успевает испаряться (растворяться).

Промежуточный баллон – предназначен для очистки хлор-газа от крупных механических примесей и капель жидкого хлора.

Дозаторы хлора – предназначены для дозирования газообразного хлора, смешения его с рабочей водой, приготовления хлорной воды и подачи ее к месту ввода. Дозаторы бывают напорные и вакуумные. Наибольшее распространение получили дозаторы вакуумного типа, т.к. в них хлор-газ проходит по приборам под разрежением, что сводит до минимума опасность проникновения токсичного хлора в помещение хлораторной.

### 12.3. Смесители, контактные резервуары, конструкция и расчет

Смешение хлорной воды со сточной должно происходить в течение 1—2 мин. Для смешения сточной воды и хлора могут применяться смесители любого типа. При расходах сточных вод до 1400 м<sup>3</sup>/сут используются ершовые смесители. При больших расходах применяются дырчатые смесители, водоизмерительные лотки, перепадные колодцы, смесители, в которых перемешивание осуществляется сжатым воздухом, распределяемым через дырчатые трубы.

Дырчатый смеситель (рис. 2) выполняется в виде железобетонного лотка с дырчатыми перегородками. Обычно устраивается 2—3 перегородки с отверстиями диаметром 20—40 мм при небольших и до 100 мм при средних и

ших расходах.

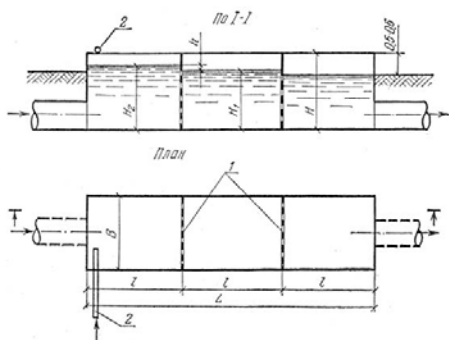


Рисунок 2 - Дырчатый смеситель.

1 – дырчатые перегородки;  
2 – подача хлорной воды.

Смесителя типа лоток Паршалья (рис. 3). Лоток Паршалья состоит из подводящего раструба, горловины и отводящего раструба. Боковые стенки горловины строго вертикальны, а дно имеет уклон в сторону движения воды. В результате сужения сечения и резкого изменения уклона дна в отводящем раструбе возникает гидравлический прыжок, в котором происходит интенсивное перемешивание хлорной воды со сточной.

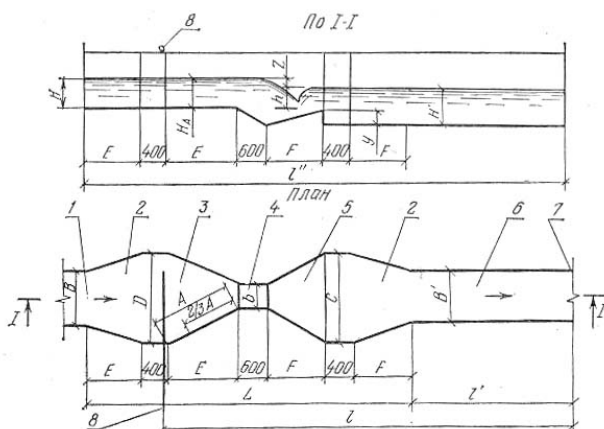


Рисунок 3 - Схема смесителя типа лоток Паршалья

1 – подводящий лоток;  
2 – переход;  
3 – подводящий раструб;  
4 – горловина;  
5 – отводящий раструб;  
6 – отводящий лоток;  
7 – створ полного перемешивания;  
8 – подача хлорной воды.

Контактные резервуары предназначены для обеспечения контакта хлора со сточной водой в течение 30 мин при максимальном ее притоке. Эти резервуары проектируются как первичные отстойники без скребков.

Применяется также конструкция горизонтальных контактных резервуаров, разработанная ЦНИИЭП инженерного оборудования (рис. 4.).

В лотках ребристого днища такого резервуара размещаются трубопроводы для технической воды, а посередине днища в каждой секции расположены трубчатые перфорированные аэраторы. В резервуарах может осуществляться непрерывная продувка воды воздухом для насыщения ее кислородом и предотвращения выпадения взвеси.

При работе контактных резервуаров без продувки воздухом выпавший осадок удаляется периодически (1 раз в 5—7 дней). При этом секция отключается и опорожняется, осевший осадок смывается в приемок и удаляется в хозяйственно-фекальную канализацию станции.

Расход технической воды на смыв осадка — 10—15 л/с на одну секцию при продолжительности смыва 5—10 мин, необходимый напор — 10—15 м.

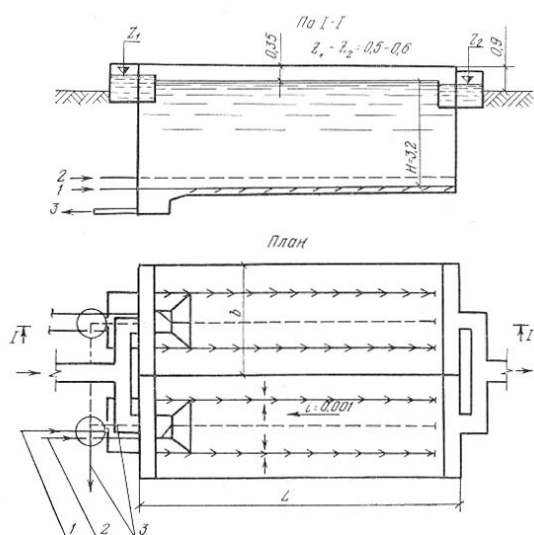


Рисунок 4 - Контактный горизонтальный резервуар

- 1 – трубопровод технической воды;
- 2 – трубопровод сжатого воздуха;
- 3 – трубопровод опорожнения.

Расчет.

1. Объем контактных резервуаров

$$W = \frac{Q \cdot T}{24 \cdot 60}, \text{ м}^3$$

где  $T$  — время контакта в резервуаре, мин  $T=30$  мин ;

$Q$  – максимальный расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

2. Длина контактного резервуара

$$L = V \cdot T = \frac{V \cdot T \cdot 60}{1000}, \text{ м}$$

где  $V$  - скорость движения сточных вод в контактных резервуарах  $V=10\text{мм/с}$ .

3. Площадь поперечного сечения:

$$\omega = W / L, \text{ м}^2$$

4. Число секций определяется при глубине  $H=3,1$  м и ширине каждой секции  $b=6$  м, при этом минимальное количество секций – 2 шт:

$$n = \omega / (b \cdot H)$$

12.4. Классификация выпусков. Выпуск очищенных сточных вод в водотоки. Конструкции выпусков.

Выпуски сточных вод – это специальные сооружения, целью которых является обеспечение сброса сточных вод в водный объект. При выборе типа выпуска и места его расположения исходят из того, чтобы было обеспечено как можно более полное смешение сточных вод с водой. Поэтому выпуски всех типов надлежит размещать в местах с повышенной турбулентностью, т.е. на порогах, в протоках, сужениях и т. д.

Выпуски сточных вод в водные объекты классифицируются по следующим признакам:

по конструкции:

- затопленные и незатопленные;
- сосредоточенные и рассеивающие;
- напорные и безнапорные.

по месту расположения:

- береговые, русловые и глубинные.

по материалу труб:

- бетонные, металлические, пластмассовые.

в зависимости от вида водного объекта:

- речные, озерные, морские.

Береговые выпуски (рис. 5-7) располагаются в пределах береговой полосы водного объекта таким образом, чтобы сточная вода поступала непосредственно у берега. Как правило, береговые выпуски являются сосредоточенными. Сосредоточенный выпуск – трубопровод, который заделан в подпорную стенку.

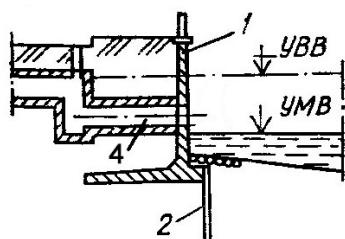


Рисунок 5 - Схема незатопленного берегового выпуска через подпорную стенку

- 1 – подпорная стенка;
- 2 – шпунтовое ограждение;
- 4 – трубопровод.

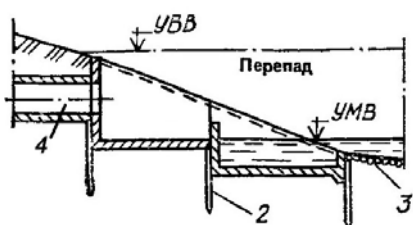


Рисунок 6 - Схема берегового выпуска с многоступенчатым колодезным перепадом

- 2 – шпунтовое ограждение;
- 3 – крепление русла реки;
- 4 – трубопровод.

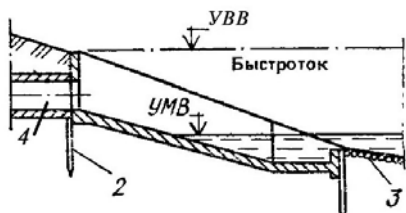


Рисунок 7 - Схема берегового выпуска с быстротоком и водобойным колодцем

- 2 – шпунтовое ограждение;
- 3 – крепление русла реки;
- 4 – трубопровод.

Сосредоточенные выпуски имеют меньшую стоимость. Характерной особенностью сосредоточенного выпуска является очень медленное смешение с водой водоема и в соответствии с этим наступает медленно процесс самоочищения. В акватории таких выпусков может резко изменяться качественный состав речной воды, поэтому эти выпуски применяются при сбросе в водный объект дождевых сточных вод или условно чистых производственных сточных вод.

Для ускорения процессов смешения и самоочищения целесообразно применять рассредоточенные рассеивающие выпуски, обеспечивающие наиболее полное смешение сточной воды с водой водного объекта.

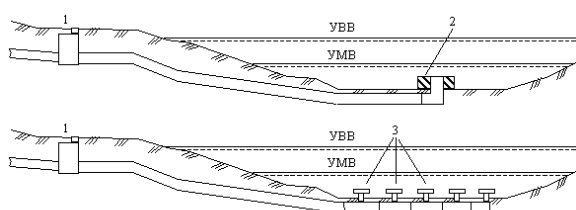


Рисунок 8 - Схемы русловых выпусков

а – сосредоточенный; б – рассеивающий

- 1 – береговой колодез;
- 2 – бетонный оголовок;
- 3 – оголовки с насадками

## Тема 13. Обработка, обезвреживание и использование осадка.

(Теоретический раздел)

13.1. Состав и свойства осадков сточных вод.

13.2. Методы обработки осадка.

13.3. Уплотнители и сгустители осадков.

13.4. Септики, их конструкции и расчет.

13.5. Двухъярусные отстойники, их конструкции и расчет.

13.6. Анаэробное метановое сбраживание. Условия процесса анаэробного метанового сбраживания.

13.7. Конструкции метантенков, их расчет.

13.8. Аэробная стабилизация осадков. Технологические схемы аэробной стабилизации. Аэробные стабилизаторы и их расчет.

13.9. Иловые площадки их расчет.

13.10. Механическое обезвоживание осадков сточных вод на вакуум-фильтрах, центрифугах, фильтр-прессах.

13.11. Термическая сушка обезвоженного осадка. Сжигание осадков.

*13.1. Состав и свойства осадков сточных вод.*

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

Это отбросы, задерживаемые решетками, пескололками, осадок, выпадающий в первичных отстойниках, активный ил или биопленка, образующиеся в сооружениях биологической очистки воды.

Общий объем осадков, как правило, не превышает 1% объема обрабатываемых стоков, при этом на долю активного ила приходится 60 - 70% образующихся осадков.

Можно выделить так называемые вторичные осадки, образовавшиеся в результате обработки первичных осадков (сброженные, уплотненные, обезвоженные, сухие).

Отбросы решеток. В состав отбросов входят крупные взвешенные и плавающие вещества, преимущественно органического происхождения. По данным эксплуатации очистных станций средний состав этих отбросов в % включает бумагу - 65, тряпье - 25, древесину, пластики - 4, другие отбросы - 6. Влажность 80%, зольность 7-8% и объемной массе 750 кг/м<sup>3</sup>.

Осадки пескололок. В их состав обычно входят песок, обломки отдельных минералов, кирпич, уголь, битое стекло и т. п. При проектировании количество задерживаемых тяжелых примесей принимают 0,02 л на одного человека в сутки или 7,2 л в год, при влажности 60%, зольность 80-90% и объемной массе 1,5 т/м<sup>3</sup>.

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

Осадки сырые первичных отстойников. В бытовых сточных водах эти

осадки представляют собой студенистую, вязкую суспензию со слабокислой реакцией. Органические вещества (беззольность) в них составляют 65-75%, (быстро загнивают, издавая неприятный запах), минеральные (зольность) – 25-35%. Влажность осадка 93-95%. Осадок отличается большой неоднородностью: содержание в нем частиц крупностью более 7-10 мм составляет 5-20%, крупностью 1-7 мм – 9-33%, крупностью менее 1 мм - 50-88% массы сухого вещества. Насыщен микроорганизмами (в том числе патогенными), содержит яйца гельминтов.

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

По фракционному составу активный ил состоит на 98% по массе из частиц размерами меньше 1 мм. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью 99,2-99,7%. Органическая часть АИ (беззольность) - 70-75%, минеральная (зольность) – 25-30%.

Химический состав осадков. Основными компонентами беззольной части сырого осадка и ила являются белково-, жиро-, углеводоподобные вещества, в сумме составляющие 80-85%. Остальные 15-20% приходятся на долю лигнино-гумусового комплекса соединений. Количественные соотношения отдельных компонентов в осадке и иле различны. Если в беззольном веществе осадка преобладают жироподобные вещества и углеводы, то в активном иле значительную часть органического вещества составляют белки.

Осадки сточных вод содержат ценные удобрительные вещества (азот 1,6-6%, фосфор 0,6-5,2%, калий 0,1-0,6%) и могут быть использованы в качестве удобрения.

Состав осадка и ила может меняться в значительных пределах и зависит от состава сточных вод, принятой схемы очистки и других факторов.

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

Свойства суспензии во многом зависят от содержания в ней воды. Общее влагосодержание в осадках принято определять понятием "влажность". Общая влажность – это отношение массы воды к общей массе сырого осадка.

Осадки плохо отдают воду и относятся к категории труднофильтрующихся суспензий. В структуре осадка влага может находиться в форме свободной воды, в физико-механической связи с твердыми частицами, а также в физико-химической и химической формах связи.

Свободная вода может быть удалена из осадка фильтрацией или отжимом, гравитационным уплотнением. Вакуум-фильтрацией, центрифугированием или фильтр-прессованием можно добиться удаления части связанной влаги.

На способность осадков отдавать воду влияет ряд факторов: влажность, степень дисперсности частиц твердой фазы, структура осадка и его химический



состав, соотношение в осадках между свободной и связанной водой.

Обобщающим показателем, характеризующим способность осадков к водоотдаче (фильтруемость осадка), является удельное сопротивление фильтрации — сопротивление, оказываемое потоку фильтрата, равномерным слоем осадка, масса которого на единице площади фильтра равна единице. Удельное сопротивление сырого осадка первичных отстойников составляет  $(50-500) \cdot 10^{10}$  см/г. Чем выше удельное сопротивление, тем труднее отдает воду осадок. Активный ил имеет значительно большее сопротивление фильтрации, чем сырой осадок. Удельное сопротивление фильтрации служит исходной величиной при выборе метода обезвоживания осадка.

Для снижения удельного сопротивления фильтрации и интенсификации процесса отделения воды осадки перед обезвоживанием подвергают предварительной обработке. При этом чем больше удельное сопротивление, тем более глубокая требуется предварительная обработка. К методам предварительной обработки относятся: промывка осадка водой, обработка его химическими реагентами, замораживание с последующим оттаиванием, тепловая обработка.

### *13.2. Методы обработки осадка.*

Обработка осадков, выделяемых в процессах очистки сточных вод, проводится с целью получения конечного продукта, наносящего минимальный ущерб окружающей среде или пригодного для утилизации в производстве.

Стабилизация – разложение органической части осадков до простых соединений или продуктов, имеющих длительный период ассимиляции (усвоения) окружающей средой, обеспечивается устойчивостью к загниванию. Стабилизация – биологическая, химическая, физическая и их комбинации. Наиболее распространена – биологическая анаэробная и аэробная.

Кондиционирование - предварительная обработка для интенсификации процесса отделения воды.

Обезвоживание - снижения влажности и уменьшения объема осадка.

Термическая обработка – для снижения массы, объема осадка, получается сухой сыпучий продукт, освобожденный от патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Обеззараживание – уничтожения патогенных микроорганизмов.

Ликвидация – хранение и складирование, при невозможности утилизации.

Утилизация – использование в производстве.

### *13.3. Уплотнители и сгустители осадков.*

Осаждающийся во вторичных отстойниках активный ил имеет влажность 99,2-99,6%. Основная часть этого ила поступает в аэротенк – этот ил называют рециркуляционным. Другая часть - избыточный активный ил - направляется на дальнейшую обработку для стабилизации (в метантенк или аэробный стабилизатор) и обезвоживания.

Осуществлять обработку больших количеств избыточного активного ила такой влажностью нерентабельно, поэтому его предварительно уплотняют. Для этого применяют уплотнители и сгустители различных типов:

- гравитационные (вертикальные, радиальные, горизонтальные),
- флотационные,
- механические сгустители и др.

Гравитационное уплотнение - наиболее распространенный прием уменьшения объема избыточного активного ила. Конструкции вертикальных и радиальных уплотнителей аналогичны конструкциям первичных отстойников.

Данные для расчета гравитационных илоуплотнителей.

Вертикальные:

- продолжительность уплотнения – 10-12 ч,
- влажность уплотненного – 98%.

Радиальные:

- продолжительность уплотнения – 9-11 ч,
- влажность уплотненного – 97,3%

Наиболее эффективными являются радиальные илоуплотнители с илоскребами. Это объясняется:

- медленным перемешиванием активного ила в процессе уплотнения,
- меньшей высотой радиальных илоуплотнителей по сравнению с вертикальными,
- лучшим хлопьеобразованием и осаждением ила (т.к. при перемешивании снижаются вязкость активного ила и его электрокинетический потенциал).

Недостатки гравитационного уплотнения:

- высокое содержание взвешенных веществ в отделенной воде;
- высокая влажность уплотненных осадков;
- продолжительное уплотнение требует больших объемов уплотнителей.

Флотационное уплотнение.

Достоинства:

- предотвращает загнивание активного ила,
- сокращается продолжительность уплотнения (2-3 часа) и объемы сооружений,
- уплотнение более глубокое (94,5-95%).

Недостатки

- более высокие по сравнению с гравитационным уплотнением эксплуатационные затраты
- невозможность накопления большого количества ила в уплотнителе.

Конструкция - круглые в плане резервуары диаметром 6, 9, 12, 15, 18, 20, 24 м и глубиной 2-3 м, различающиеся внутренним оборудованием.

Внутри корпуса (рис. 1) 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. 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.

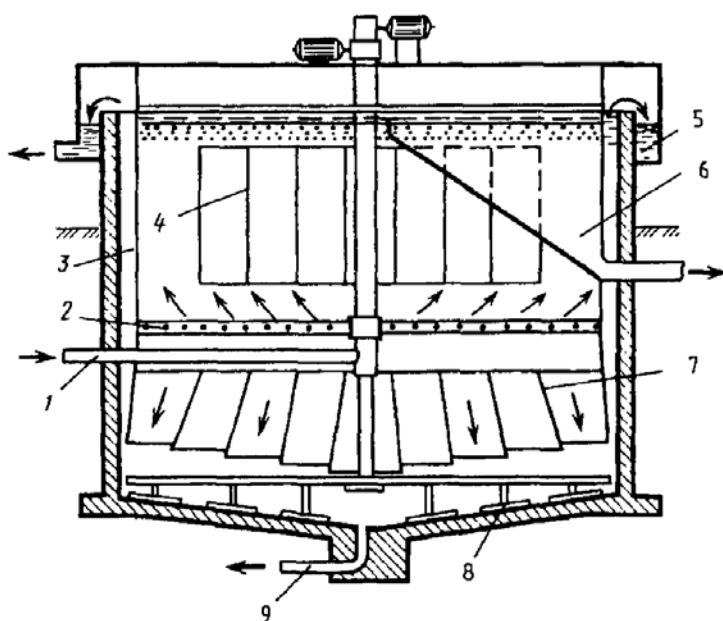


Рисунок 1 - Флотационный уплотнитель

- 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

**Механические сгустители** осадка (как правило, ленточные и барабанные) используются, в основном для сгущения смеси сырого осадка и активного ила или только активного ила перед подачей в метантенки или на обезвоживание.

**Ленточные сгустители** работают по принципу гравитационного обезвоживания. К исходной суспензии для улучшения процесса разделения фаз добавляют раствор флокулянта. Приготовление и разбавление раствора до рабочей концентрации производится автоматически. Насос дозирования через смеситель подаёт раствор непосредственно в трубопровод с осадком. Обработанная таким образом суспензия подаётся на верхнюю ленту сгустителя, равномерно распределяясь по всей ширине. Разделение фаз происходит под действием сил тяжести. Вода стекает сквозь перфорированную ленту, а твёрдая фаза остаётся на ленте. Для улучшения процесса разделения над лентой предусмотрены взрыхлители.

Сгущенный осадок сваливается на ниже расположенную ленту и ещё раз проходит через сгуститель. Специальный скребок очищает ленту, сбрасывая осадок во встроенный бункер, из которого осадок насосом подаётся на обезвоживание. Осветлённый фильтрат собирается в нижней части сгустителя и может быть использован в качестве промывной воды. Промывка ленты производится непрерывно после удаления с неё очередной порции осадка.

Фильтрат, отделившийся в результате флокуляции осадка, стекает через непрерывно вращающуюся горизонтальную сетку, а твёрдые вещества удерживаются. На сетке осадок постоянно перемешивается специальными «плужками». Для очистки сеток применяется собственный фильтрат, так что при постоянной работе свежей воды не требуется.

После обезвоживания на сгустителе влажность осадка может снижаться с 98-99% до 90-96%, т.е. происходит сокращение объема осадка в 2 – 9 раз.

### 13.4. Септики, их конструкции и расчет.

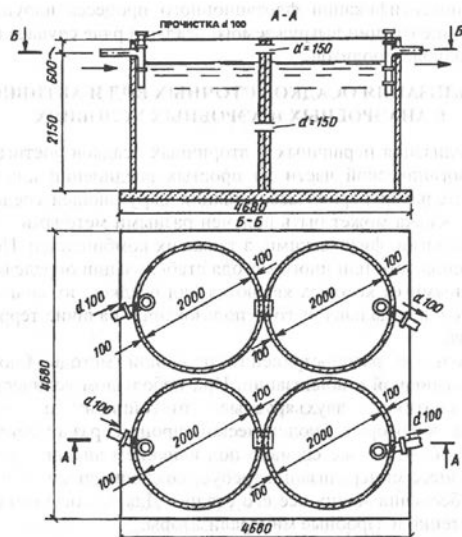


Рисунок 2 - Двухкамерный септик из железобетонных колец.

Септики (рис. 2) являются комбинированными сооружениями, в которых происходит осветление сточной воды и сбраживание (перегнивание) выпавшего осадка. Септики обычно применяют при очистке небольших количеств сточных вод (до  $25 \text{ м}^3/\text{сут}$ ), поступающих от отдельно стоящих зданий или группы зданий. Последующей ступенью очистки сточной воды являются поля подземной фильтрации, песчано-гравийные фильтры, фильтрующие траншеи или колодцы.

Взвешенные вещества, содержащиеся в сточной воде, выпадают в осадок, накапливающийся на дне септика. Осадок представляет собой частицы преимущественно органического происхождения. Под действием анаэробных микроорганизмов органическая часть осадка

превращается в газы и минеральные соединения.

В зависимости от расхода сточных вод принимают: однокамерные септики — при расходе до  $1 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; двухкамерные — при расходе до  $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; трехкамерные — при расходе свыше  $10 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Полный расчетный объем септика следует принимать равным 3-суточному притоку — при расходе сточных вод до  $5 \text{ м}^3/\text{сут}$ , и не менее 2,5-суточному — при расходе более  $5 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Влажность осадка, сброженного в септике, составляет 90%.

### 13.5. Двухъярусные отстойники, их конструкции и расчет.

Двухъярусные отстойники служат для осветления сточных вод, уплотнения и сбраживания выпавшего осадка. Они применяются на станциях пропускной способностью до 10 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

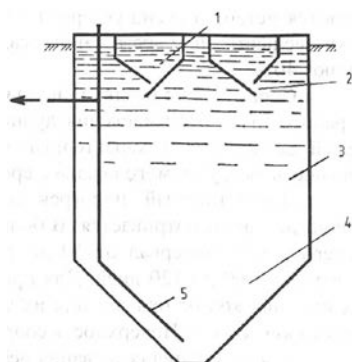


Рисунок 3 - Схема двухъярусного отстойника:

- 1 - желоба для осветления сточных вод;
- 2 - щель;
- 3 - нейтральный слой;
- 4 - септическая камера;
- 5 - трубопровод для удаления осадка.

Отстойники представляют собой резервуары цилиндрической прямоугольной в плане формы. В верхней части сооружений расположены проточные желоба (рис. 3), в которых происходит осветление сточной воды, а в нижней части находится камера сбраживания выпавшего осадка.

Осадочные желоба, по которым протекает сточная вода, выполняют функ-

ции горизонтального отстойника, и в них происходит выпадение оседающих взвешенных веществ. Глубину осадочных желобов принимают 1,2-2,5 м.

Выпавший осадок сползает по наклонным стенкам нижней части желоба в щель и поступает в иловую камеру. Осадок, попавший в иловую камеру двухъярусного отстойника, под воздействием анаэробных микроорганизмов минерализуется в мезофильных условиях. Распад органических веществ при сбраживании осадка в двухъярусных отстойниках принимают 40%. Продолжительность сбраживания 30-210 сут (в среднем 60-120 дней). Влажность выгружаемого осадка в среднем 90-92%.

Сброженный ил удаляют из септической камеры снизу (как в вертикальных отстойниках) через иловую трубу диаметром 200 мм под гидростатическим напором 1,5-1,8 м.

Расчет двухъярусного отстойника состоит в определении размеров проточного желоба и объема камеры сбраживания.

### *13.6. Анаэробное метановое сбраживание. Условия процесса анаэробного метанового сбраживания.*

Биохимический процесс стабилизации осуществляется в анаэробных условиях и представляет собой разложение органического вещества осадков в результате жизнедеятельности сложного комплекса микроорганизмов до конечных продуктов, в основном метана и диоксида углерода. Образуется биогаз, содержащий 60-70% метана и 30-40% диоксида углерода.

Анаэробное метановое сбраживание включает четыре взаимосвязанные стадии, осуществляемые разными группами бактерий.

1. Стадия ферментативного гидролиза. Осуществляется гидролиз нерастворенных сложных органических соединений с образованием более простых растворенных веществ (белки – до пептидов и аминокислот, жиры – до глицерина и жирных кислот, углеводы – до простых сахаров). Оптимальное значение рН для развития этой группы бактерий находится в интервале 6,5-7,5.

2. Стадия кислотообразования (кислотогенная) сопровождается выделением летучих жирных кислот (муравьиная, масляная, пропионовая и др) кислот, спиртов, а также водорода и углекислого газа. Стадия осуществляется быстрорастущими, весьма устойчивыми к неблагоприятным условиям среды гетерогенными бактериями.

После этих фаз – осадок практически не уменьшается в объеме, плохо сохнет и может загнивать.

3. Ацетатогенная стадия превращения ЛЖК, аминокислот и спиртов в уксусную кислоту осуществляется двумя группами ацетатогенных бактерий. Первая группа, образующая ацетаты с выделением водорода из продуктов предшествующих стадий, называется ацетатогенами, образующими водород. Вторая, также образующая ацетаты и использующая водород для восстановления диоксида углерода, называется ацетатогенами, использующими водород:

4. Метаногенная стадия, осуществляемая медленно растущими бактериями, являющимися строгими анаэробами, весьма чувствительными к изменениям условий среды, особенно к снижению рН менее 7,0 - 7,5 и температуры.

Разные группы метаногенов образуют метан двумя путями: расщеплением ацетата и восстановлением диоксида углерода. По первому пути образуется 72% метана, по второму - 28%.

Сброженный осадок (зрелый осадок) пропитан пузырьками газа, содержание органического вещества в сброженном осадке уменьшается с 80% до 50%.

Для нормально протекающего процесса метанового брожения характерны слабощелочная реакция среды ( $\text{pH} \leq 7,6$ ), высокая щелочность иловой воды (65-90 мг-экв/л) и низкое содержание жирных кислот (до 5-12 мг-экв/л).

Нарушение процесса может быть результатом перегрузки сооружения, изменения температурного режима, поступления с осадком токсичных веществ и т.д. Нарушение проявляется в накоплении жирных кислот, снижении щелочности иловой воды, падении pH. Резко уменьшается объем образующегося газа, увеличивается содержание в газе угольной кислоты и водорода - продуктов кислой фазы брожения.

**Эффективность процесса анаэробного сбраживания** оценивается по:

- степени распада органического вещества,
- количеству и составу образующегося биогаза,

На данные параметры влияют:

- химический состав осадка,
- температура сбраживания,
- доза загрузки метантенка,
- концентрация загружаемого осадка.
- режим загрузки и выгрузки осадка,
- система перемешивания осадка.

Химический состав осадка. В органическом веществе основную часть (до 80%) составляют жиры, белки и углеводы. Именно за счет их распада образуется все количество выделяющегося биогаза, в том числе 60-65% за счет распада жиров, остальные 40-35% приходятся примерно поровну на долю углеводов и белков. Отсюда следует, что при сбраживании осадков первичных отстойников, содержащих больше жиров, образуется больше газа, чем при сбраживании активного ила, в котором больше белков. Имеется максимальный предел сбраживания и, следовательно, максимальный выход газа с единицы распавшегося вещества, которые существенно различны у жиров, белков и углеводов. Различен и состав выделяющегося газа.

Диапазон температур, при котором возможно образование метана в анаэробных микробных процессах, довольно широк. В природе метан образуется при температурах от 0 до 97°C. Различают три основные температурные зоны жизнедеятельности микроорганизмов: психрофильная - до 20°C; мезофильная - от 20 до 40°C; термофильная - от 50 до 70°C.

Наибольшее практическое применение в обогреваемых метантенках нашли два температурных режима: мезофильный (32-35°C) и термофильный (52-55°C).

Преимущества термофильного сбраживания

- отличается большей интенсивностью распада органических веществ и заканчивается примерно в 2 раза быстрее, за счет чего вдвое сокращается тре-

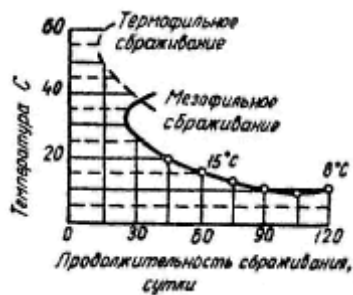


Рисунок 4 - Зависимость сроков сбраживания осадка от температуры

буемый объем сооружений. На рис. 4 показаны симости сроков сбраживания от температуры, а также ход процесса при мезофильном и термофильном сбраживании;

- обеспечивает глубокое обеззараживание осадков не только от поточной микрофлоры, но и от гельминтов (при термофильном сбраживании достигается полная дегельминтизация осадка, тогда как в условиях мезофильных температур погибает лишь 50—80% яиц гельминтов).

#### Недостатки термофильного сбраживания

- низкая водоотдающая способность сброженного осадка, что требует его промывки при последующем механическом обезвоживании.
- подогрев осадка до термофильных температур, особенно в зимнее время, требует дополнительного расхода топлива, что влечет за собой увеличение эксплуатационных затрат.

#### Недостатки мезофильного режима сбраживания

- не обеспечивает обеззараживания осадка,
- требует больших объемов метантенков,

#### Преимущества мезофильного режима сбраживания

- позволяет получить сброженный осадок, лучше поддающийся последующему обезвоживанию;
- обеспечение процесса теплом, получаемым от сжигания газов брожения.

Перемешивание содержимого метантенка необходимо проводить с целью обеспечения:

- эффективного использования всего объема метантенка,
- исключения образования мертвых зон,
- предотвращения расслоения осадка,
- предотвращения отложения песка и образования корки,
- выравнивания температурного поля.

Режим загрузки и выгрузки. Метантенки могут работать в периодическом, непрерывном и полунепрерывном режимах.

При периодической загрузке наблюдается неравномерность выхода биогаза в период между загрузками.

При непрерывной подаче предварительно подогретого сырого осадка, его хорошим смешении с массой бродящего осадка обеспечиваются:

- равномерный тепловой режим сооружения,
- равномерное поступление питательных субстратов,
- возможность работы с повышенными дозами загрузки,
- возможность автоматизации и механизации процесса,
- обеспечивает равномерность газовыделения и однородность выгружаемого осадка.

Недостаток непрерывной подачи - присутствие в выгружаемом осадке хотя бы незначительной части несброженного, следовательно, необеззараженного осадка.

### 13.7. Конструкции метантенков, их расчет.

Метантенки представляют собой герметичные вертикальные резервуары с коническим или плоским днищем, выполненные из железобетона или стали.

В настоящее время разработаны типовые проекты метантенков полезным объемом 500-4000 м<sup>3</sup> и диаметром 10-20 м. Для крупных очистных станций разработаны индивидуальные проекты метантенков с полезным объемом 6000-8000 м<sup>3</sup>.

Схема метантенка представлена на рис. 5. Уровень осадка поддерживается в узкой горловине метантенка, что позволяет повысить интенсивность газовойделения на единицу поверхности бродящей массы и предотвратить образование плотной корки.

При разработке конструкций метантенков значительное внимание уделяется теплоизоляции резервуаров и обеспечению газонепроницаемости купола.

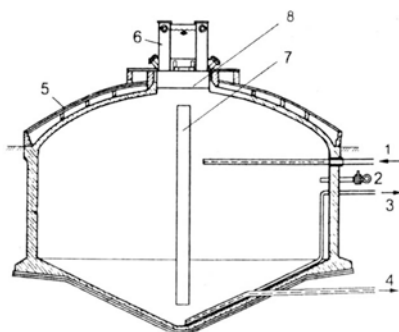


Рисунок 5 - Метантенк:

- 1 - подача осадка;
- 2 - паровой инжектор;
- 3 - выпуск сброженного осадка;
- 4 - опорожнение метантенка;
- 5 - теплоизоляция;
- 6 - система сбора и отвода газа;
- 7 - циркуляционная труба;
- 8 - уровень осадка

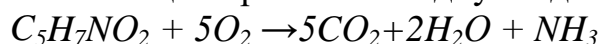
Основными конструктивными элементами метантенков, выполняющими определенные технологические функции, являются:

- система подачи осадков на сбразивание и выгрузки стабилизированного осадка;
- система подогрева;
- система перемешивания бродящей массы;
- система сбора и отвода выделяющегося газа.

Расчет метантенков заключается в определении необходимого их объема в зависимости от количества поступающего в них сырого осадка и избыточного активного ила.

### 13.8. Аэробная стабилизация осадков. Технологические схемы аэробной стабилизации. Аэробные стабилизаторы и их расчет.

Аэробная стабилизация осадков сточных вод - процесс окисления эндогенных (внутреннего происхождения) и экзогенных (внешнего происхождения) органических субстратов (химическое вещество, подвергающееся превращению под действием фермента) в аэробных условиях. В отличие от анаэробного сбразивания аэробная стабилизация протекает в одну стадию:



Образуется углекислота, вода, аммонийный азот, который в последующем окисляется до нитритов  $NH_3$  до  $NO_2$ .



Аэробной стабилизации может подвергаться неуплотненный и уплотненный избыточный активный ил и его смесь с осадком первичных отстойников.

Степень распада органического вещества и продолжительность процесса зависят от:

- соотношения количеств сырого осадка и активного ила,
- концентрации органических веществ,
- интенсивности аэрации,
- температуры и пр.

Процесс аэробной стабилизации обычно происходит в психрофильно-мезофильной зоне жизнедеятельности микроорганизмов при температуре от 10 до 42 °С и затухает при температуре менее 8 °С. Степень распада органических веществ изменяется в среднем от 10 до 50 %. В процессе аэробной стабилизации при мезофильных температурах наблюдается снижение содержания кишечной палочки и других патогенных бактерий и вирусов на 70-90%, однако при этом яйца гельминтов не погибают.

Продолжительность процесса - 2-5 сут для неуплотненного ила, 6-7 сут для смеси неуплотненного ила и осадка из первичных отстойников и 8-12 сут для смеси уплотненного ила и осадка. Удельный расход воздуха следует принимать 1-2 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>3</sup> объема стабилизатора при интенсивности аэрации не менее 6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч).

#### Технологические схемы аэробной стабилизации (рис.6).

Аэробная стабилизация осадков обеспечивает получение биологически стабильных продуктов, хорошие показатели влагоотдачи, простоту эксплуатации и низкие строительные стоимости сооружений. Однако значительные энергетические затраты на аэрацию ограничивают целесообразность использования этого процесса на очистных сооружениях производительностью более 50-100 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

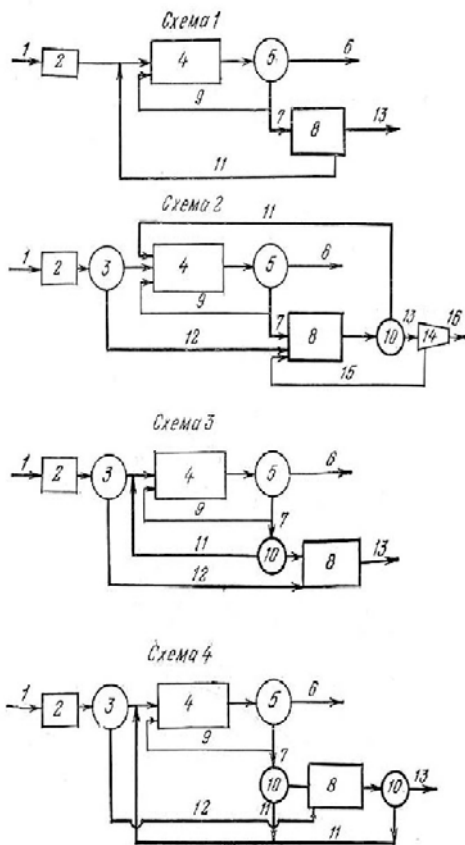
#### Аэробные стабилизаторы.

Аэробная стабилизация осадков проводится обычно в сооружениях типа аэротенков глубиной 3-5 м (рис. 7).

Отстаивание и уплотнение аэробно стабилизированного осадка следует производить в течение 1,5-5 ч в отдельно стоящих илоуплотнителях или в специально выделенной зоне внутри стабилизатора. Влажность уплотненного осадка 96,5-98,5%. Иловая вода должна направляться в аэротенки.

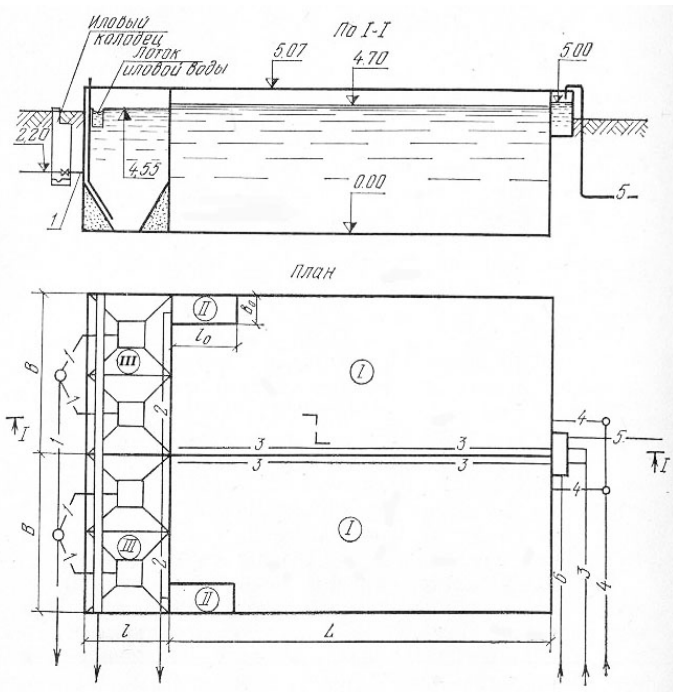
Расчет аэробных стабилизаторов заключается в определении необходимого их объема в зависимости от количества поступающего в них сырого осадка и избыточного активного ила, а также в определении необходимого расхода воздуха.

Рисунок 6 - Технологические схемы аэробной стабилизации:



- 1 — поступающая сточная вода;
- 2 — решетка и песколовка;
- 3 — первичный отстойник;
- 4 — аэротенк;
- 5 — вторичный отстойник;
- 6 — очищенная сточная вода;
- 7 — избыточный активный ил;
- 8 — аэробный стабилизатор;
- 9 — циркулирующий активный ил;
- 10 — илоуплотнитель;
- 11 — иловая вода;
- 12 — сырой осадок первичных отстойников;
- 13 — стабилизированный осадок;
- 14 — центрифуга;
- 15 — фугат;
- 16 — обезвоженный осадок

Рисунок 7 - Схема аэробного стабилизатора, совмещенного с уплотнителем:



- I - зона аэрации;
- II - отстойная зона;
- III - осадкоуплотнитель;
- 1 - стабилизированный осадок;
- 2 - выпуск отстойной воды;
- 3 - воздуховод;
- 4 - опорожнение;
- 5 - иловая смесь;
- 6 - фугат из цеха мехобезвоживания

### 13.9. Иловые площадки и их расчет.

Наиболее простым и распространенным способом обезвоживания осадков является сушка их на иловых площадках. Иловые площадки допускается применять для обезвоживания осадка при производительности очистных сооружений до 25 000 м<sup>3</sup>/сут. При большей производительности следует предусматривать сооружения по механическому обезвоживанию осадка, а также дополни-

тельно, при необходимости, аварийные иловые площадки.

Иловые площадки проектируются:

- на естественном основании (с дренажем или без дренажа);
- на искусственном асфальтобетонном основании с дренажем;
- каскадные с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды;
- площадки-уплотнители.

Иловые площадки на естественном основании без дренажа применяют: 1) при хорошо фильтрующихся грунтах (песок, супесь, легкий суглинок), 2) уровень грунтовых вод находится на глубине не менее 1,5 м от поверхности карты, 3) просачивающиеся дренажные воды можно выпускать в грунт по санитарным условиям.

Иловые площадки на естественном основании без дренажа представляют собой спланированные участки земли (карты), окруженные со всех сторон земляными валиками. Осадок влажностью от 90% (из двухъярусных отстойников) до 99,5% (несброженный активный ил), периодически наливается небольшим слоем на участки и подсушивается до влажности 75-80%.

Осадок распределяется по картам с помощью труб или деревянных лотков, укладываемых по большей части в теле разделительного валика с уклоном 0,01-0,03 и снабжаемых выпусками.

Влага из осадка частично просачивается в грунт, но большая часть ее удаляется за счет испарения. Объем осадка при этом уменьшается.

Иловые площадки на естественном основании с дренажом применяют при плотном, слабопроницаемом грунте. Дренаж – это дырчатые трубы, уложенные в канавы, заполненные щебнем и гравием. Расстояние между дренажными канавками рекомендуется принимать равным 6-8 м, начальную глубину канавы - 0,6 м с уклоном 0,003.

Площадь иловых площадок определяется по формуле.

$$F_{\text{ил}} = \frac{V_{\text{общ}} \cdot T}{K}, \text{м}^2$$

где  $V_{\text{общ}}$  – расход осадка, м<sup>3</sup>/сут;

$T$  – продолжительность подсушивания, сут, 60 сут;

$K$  - нагрузка осадка на иловые площадки, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год.

Принимается количество карт и их размеры в плане. Число карт не менее 4. Ширина отдельных карт - не более 10 м – на малых станциях, на средних и больших станциях - до 35-40 м. Толщина слоя осадка летом 0,25-0,3 м и зимой 0,5 м. Высота оградительных валиков принимают на 0,3 м выше рабочего уровня.

По приведенной формуле определяют рабочую (полезную) площадь иловых площадок. Дополнительная площадь, занимаемая валиками, дорогами, канавками и т. п., учитывается коэффициентом, значения которого колеблются от 1,2 (для больших станций) до 1,4 (для малых станций).

*13.10. Механическое обезвоживание осадков сточных вод на вакуум-фильтрах, центрифугах, фильтр-прессах.*

Вакуум-фильтрация основано на удалении воды из слоя осадка, распо-

ложенного на мелкоячеистой сетке (ткани) под действием вакуума, создаваемого на противоположной стороне этой сетки. Влажность обезвоженного осадка 72-87% при исходной влажности 93-97,5%.

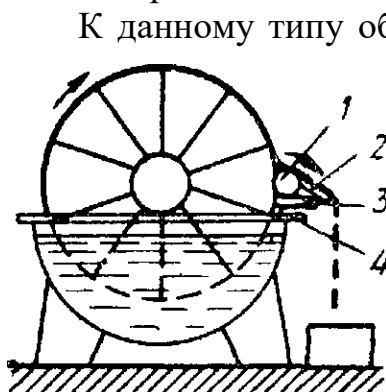


Рисунок 8 - Схема вакуум-фильтра

- 1 – вращающийся ролик;
- 2 – нож;
- 3 – натяжной ролик;
- 4 – направляющий ролик.

К данному типу обезвоживающему оборудованию относятся барабанные вакуум-фильтры (рис. 2), представляющие собой вращающийся горизонтально расположенный барабан, погруженный в корыто с осадком на 1/3 диаметра. Имеет две боковые стенки: внутреннюю сплошную и наружную перфорированную, обтянутую фильтровальной тканью. Пространство между стенками разделено на 16-32 секции, не сообщающиеся между собой.

Барабан вращается на валу, совершая один оборот за 4-7 мин. На конце вала установлена распределительная головка фильтра, соединенная с вакуум-насосом и линией сжатого воздуха.

Недостатки вакуум-фильтрации:

- необходимость использования больших объемов ручного труда при эксплуатации;
- потребность в большом объеме вспомогательного оборудования;
- значительные производственные площади;
- высокая энергоемкость;
- повышенные расходы минеральных реагентов.

#### Обезвоживание осадков на центрифугах.

Для обезвоживания осадков применяют горизонтальные осадительные центрифуги со шнековым устройством для выгрузки осадка типа НОГШ.

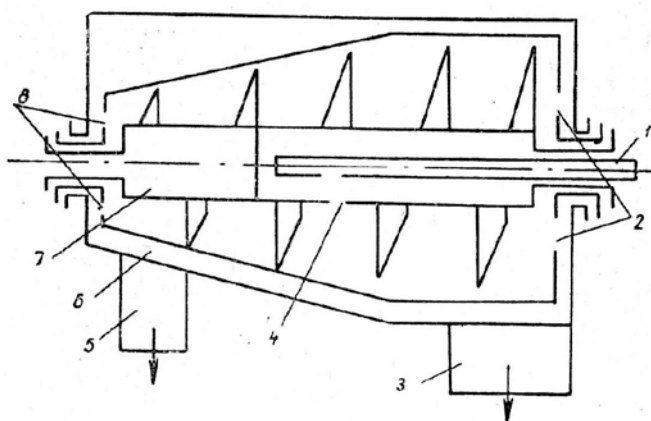


Рисунок 9 - Схема устройства центрифуги

- 1 – труба для подачи осадка;
- 2 – отверстия для выгрузки фугата;
- 3 – бункер для выгрузки фугата;
- 4 – отверстие для поступления осадка в ротор;
- 5 – бункер для выгрузки кека;
- 6 – ротор;
- 7 – полый шнек;
- 8 – отверстия для выгрузки кека

Основными элементами центрифуги (рис. 9) являются конический ротор со сплошными стенками и полый шнек. Ротор и шнек вращаются в одну сторону, но с разными скоростями. Под действием центробежной силы частички твердой фазы отбрасываются к стенкам ротора и вследствие разности частоты вращения ротора и шнека перемещаются к отверстию в роторе, через которое обезвоженный осадок попадает в бункер кека. Образовавшаяся в результате осаждения твердых частиц жидкая фаза (фугат) отводится через отверстия, расположенные с противоположной стороны ротора.

Эффективность задержания твердой фазы осадков и влажность кека зависят от характера обезвоживаемого осадка. Эффективность задержания сухого вещества - 10-65%, влажность кека - 65-85%.

При центрифугировании в качестве реагентов для улучшения водоотдающих свойств осадков сточных вод следует использовать флокулянты. Для предварительных расчетов дозу флокулянтов следует принимать от 4 до 15 кг на 1 т сухого вещества осадка.

#### Обезвоживание осадков на фильтр-прессах.

Движущей силой процесса фильтрации является напор подаваемой в аппарат суспензии. Суспензия под давлением поступает внутрь пакета плотно сжатых фильтровальных плит (рам). Плиты обтягиваются фильтровальной тканью. Частицы твердой фазы задерживаются на поверхности фильтровального полотна, а жидкая фаза свободно проникает через мелкие поры фильтроткани и далее через систему каналов выводится из фильтра.

Фильтр-прессы по принципу действия различают периодического и непрерывного действия. К первому типу относятся раздвижные рамные (камерные) фильтр-прессы, ко второму – ленточные.

Основные конструктивные элементы камерных фильтр-прессов (рис. 10): плиты, оборудованные фильтрующей перегородкой, с протянутой между ними фильтровальной лентой; механизм зажима и раскрытия плит; устройство для выгрузки обезвоженного осадка; коммуникации и арматура для подвода осадка, сжатого воздуха и отвода фильтрата.

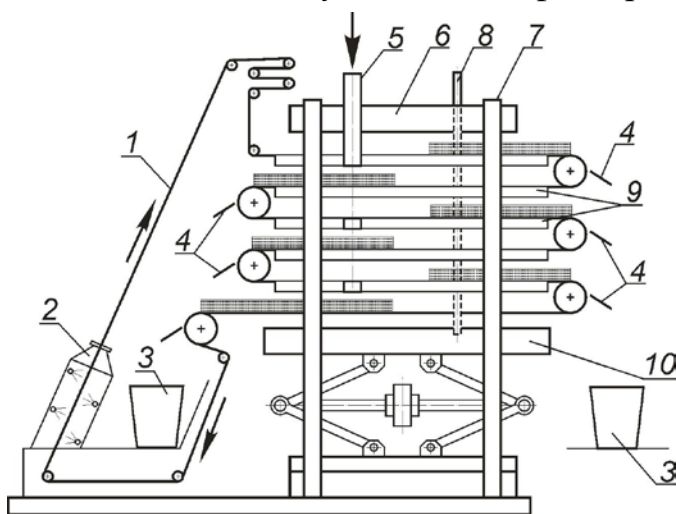


Рисунок 10 - Фильтр-пресс типа ФПАКМ:

- 1 – фильтровальная лента;
- 2 – камера регенерации фильтровальной ткани;
- 3 – бункер;
- 4 – ножи для съема осадка;
- 5 – подающий коллектор;
- 6 – верхняя опорная плита;
- 7 – направляющие;
- 8 – коллектор для подачи воды на диафрагму;
- 9 – средние фильтровальные плиты;
- 10 – нижняя нажимная плита

Перед обезвоживанием осадка на камерных фильтр-прессах предусмотрена обработка осадка химическими реагентами - 10%-ным раствором  $FeCl_3$  и известковым молоком.

Обезвоживание осадка на фильтр-прессах позволяет получить кек влажностью 55-75%.

### 13.11. Термическая сушка обезвоженного осадка. Сжигание осадков.

Термическая обработка позволяет в несколько раз снизить массу и объем осадка, получить сухой сыпучий продукт, полностью освобожденный от патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. Осадки после термической обработки, могут быть использованы как органико-минеральное удобрение, либо в качестве кормовой добавки, либо как присадочный материал, а также в качестве твердого топлива.

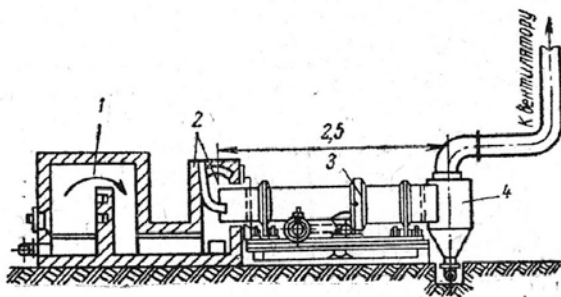


Рисунок 11 – Сушилка барабанного типа

- 1- топка; 2 – загрузочная камера;  
3 – барабан; 4 – выгрузочная камера

Для сушки обезвоженных осадков городских очистных сооружений наибольшее распространение получили барабанные сушилки с прямоточным движением осадка и топочных газов. В качестве теплоносителя или сушильного агента чаще всего используются топочные газы с температурой от 500 до 800°C.

На рис. 11 показана схема сушилки барабанного типа. Сушильный агрегат состоит из топки, сушильной камеры (барабана) и вентиляционного устройства. Осадок поступает в барабан через загрузочную камеру и удаляется из него через выгрузочную камеру.

#### Сжигание осадков.

В тех случаях, когда утилизация осадка невозможна или нецелесообразна, рекомендуется его сжигание. При сжигании полностью уничтожается органическая часть осадков, объем его сокращается в 80-100 раз.

Для сжигания осадков применяют многоподовые печи.

Принципиальная схема многоподовой печи приведена на рис. 12. Корпус печи выполнен в виде стального цилиндра диаметром 1-7 м, внутренняя поверхность которого футерована огнеупорным материалом. Печь имеет от 4 до 11 горизонтальных огнеупорных подов, расположенных один под другим.

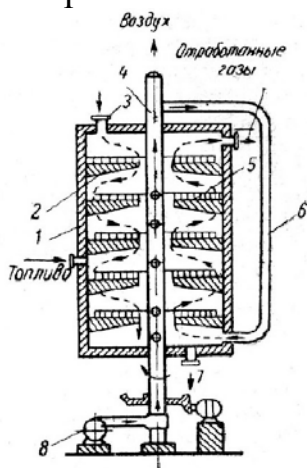


Рисунок 12 - Схема многоподовой печи для сжигания осадка

- 1 — корпус печи; 2 — огнеупорный под; 3 — загрузочное устройство; 4 — вращающийся вал; 5 — скребковые мешалки; 6 — рециркуляционный трубопровод; 7 — выгрузочное отверстие; 8 — воздуходувка

На верхних подах происходит сушка осадка, в результате которой влажность его с 70-80% снижается до 40-50%. В средней зоне печи при подаче избыточного (до 50%) объема воздуха, а при необходимости и топлива происходит сгорание осадка. Температура в этой зоне достигает 770-925°C. Воздух нагнетается воздуходувкой через вал, благодаря чему последний предохраняется от перегрева. На нижних подах образовавшаяся при сгорании осадка зола охлаждается и через выгрузочное отверстие выпускается в зольный бункер. Отработанный газ с температурой 370-425°C после очистки в мокрых скрубберах выбрасывается в атмосферу.

Многоподовые печи надежны в эксплуатации и просты по конструкции. К числу их недостатков следует отнести высокую строительную стоимость и большие размеры.

## Тема 14. Общие схемы станций для очистки сточных вод.

(Теоретический раздел)

[14.1. Выбор места расположения площадки очистной станции.](#)

[14.2. Распределительные устройства на очистных сооружениях.](#)

[14.3. Водомерные устройства на очистных сооружениях.](#)

[14.4. Вспомогательные здания и сооружения очистной станции.](#)

[14.5. Генпланы очистных станций.](#)

[14.6. Высотные схемы расположения очистных сооружений.](#)

### *14.1. Выбор места расположения площадки очистной станции.*

Выбор площадки для строительства очистных сооружений производится в увязке с проектом планировки и застройки канализуемых объектов с учетом наивыгоднейших решений внешних коммуникаций (железной и автомобильной дорог, водо-, газо-, тепло- и электроснабжения очистной станции).

Выбор площадки, место выпуска сточных вод, метод и степень очистки согласовывается с органами госнадзора, с управлением ЖКХ, с представителями санитарного надзора, экологической службы, рыбоохраны, представителями местной власти и другими заинтересованными организациями.

Площадка для строительства очистных сооружений располагается, как правило, с подветренной стороны для господствующих ветров теплого периода года по отношению к жилой застройке и ниже города по течению реки. Площадка должна иметь уклон, обеспечивающий самотечное движение сточной воды по очистным сооружениям и отвод дождевых вод. Грунты площадки должны допускать строительство сооружений без устройства дорогостоящих оснований. Площадку, как правило, надлежит выбирать на территории, незатапливаемой паводковыми водами, с низким уровнем грунтовых вод.

Очистные сооружения отделяются от границ застройки санитарно-защитными зонами (разрывами), размеры которых приведены в нормативной литературе.

Местоположение отдельных сооружений и планировка очистной станции должны обеспечивать наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод и обработки осадка и рациональное использование территории. При этом решения по планировке и компоновке сооружений должны учитывать не только расчетный период, но и дальнейшее перспективное развитие очистной станции.

Сооружения располагаются по естественному уклону местности. Взаимное их высотное расположение устанавливается с учетом расчетных потерь напора в сооружениях, соединительных коммуникациях и измерительных устройствах.

Сооружения для очистки сточных вод проектируются, как правило, открытыми.

### *14.2. Распределительные устройства на очистных сооружениях.*

Сточные воды могут поступать на очистные сооружения по самотечному

коллектору или по напорному трубопроводу. При поступлении по самотечному коллектору - в распределительную камеру, по напорному трубопроводу - в приемную камеру.

Приемная камера (рис. 1) предназначена для приема сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации, гашения скорости потока жидкости и сопряжения трубопроводов с открытым лотком. Камеры предусматриваются на поступление сточных вод по одному или двум трубопроводам и располагаются в насыпи высотой до 5 м.

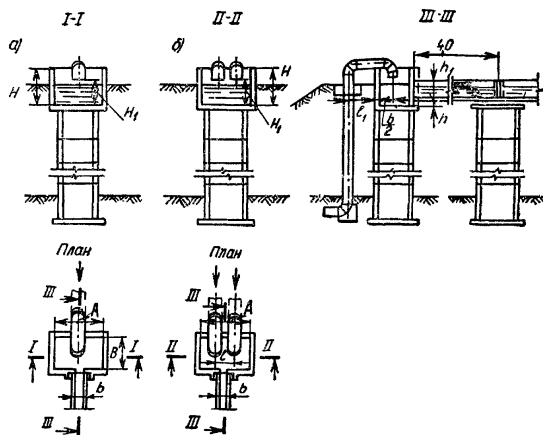


Рисунок 1 – Приемная камера.

Распределение и транспортирование сточных вод и осадков по отдельным сооружениям очистной станции производятся с помощью открытых железобетонных лотков и каналов прямоугольного сечения или трубопроводов (при подаче сточных вод на очистные сооружения дьюкерами). Применение лотков предпочтительнее, так как легче осуществить надзор за ними и их очистку. Лотки на зимнее время перекрывают съемными щитами. Размер лотков определяют исходя из скорости течения 0,4—0,6 м/с (на малых установках 0,3 м/с) при  $q_{\text{мин}}$  и не больше 1 м/с при  $q_{\text{расч}}$  с  $K_{\text{ч}}=1,4$ .

Строительную высоту лотков принимают на 0,1—0,2 м больше расчетной глубины слоя воды в них. Наивыгоднейшим сечением прямоугольного канала в соответствии с требованиями гидравлики является такое, при котором  $b = 2h$ .

Распределение сточных вод указанными устройствами неравномерное.

Автоматического равномерного распределения сточных вод по отдельным сооружениям при расходах, требующих применения лотков шириной до 1 м, можно достигать последовательно раздваивающимися и расходящимися под прямым углом лотками при симметричном расположении сооружений группами по 2 секции (рис. 2).

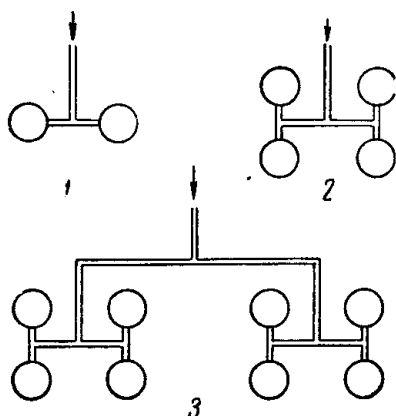


Рисунок 2 - Схемы равномерного распределения сточной жидкости лотками:

1 – на две секции; 2 – на четыре секции; 3 – на восемь сек-

ций. Для больших расходов сточных применяют более совершенные способы равномерного распределения воды и осадков по сооружениям: распределительные камеры, распределительной чаши с односторонним и двусторонним подводом воды.

### 14.3. Водомерные устройства на очистных сооружениях

На канализационных очистных сооружениях необходимо измерять расходы сточных вод, поступающих на очистные сооружения и отводимых от этих сооружений, расход иловой смеси, осадков, расход воздуха,



расход реагентов.

Расходы сточных вод измеряют в напорных трубопроводах (в насосных станциях, дюкерах, подводящих или отводящих напорных участках коллекторов и т. п.). Применяются расходомеры переменного перепада, состоящие из сужающего устройства и диафрагмы, индукционные расходомеры, ротаметры и др. приборы. В качестве сужающего устройства применяется труба Вентури.

Измерение в напорных трубопроводах более точно и надежно, чем в безнапорных (открытых) каналах, и связано с меньшими потерями напора.

При невозможности измерить расход сточных вод в напорных трубопроводах должно быть предусмотрено измерение в открытых прямоугольных лотках и каналах с использованием для этой цели лотков Вентури, водосливов с порогом треугольного профиля или лотков Паршалля.

Лотки Вентури являются наиболее точным и надежным измерительным устройством для контроля расхода сточной воды в прямоугольных каналах шириной 450-2400 мм. Представляет собой устройство, вызывающее сжатие потока и перепад уровней воды, при котором расход жидкости зависит только от уровня в контрольном сечении.

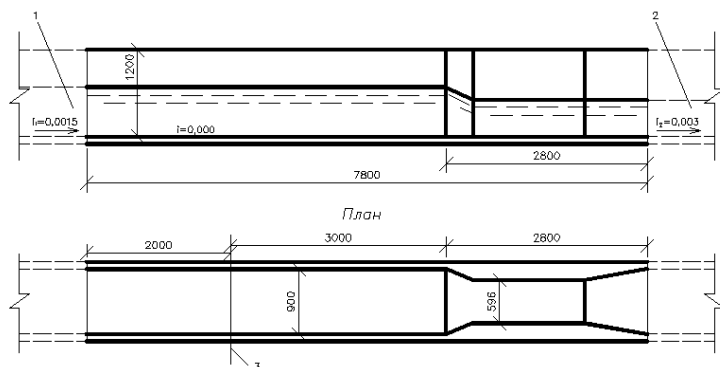


Рисунок 3 – Лоток Вентури

- 1 – подводящий лоток;
- 2 – отводящий лоток;
- 3 - контрольное сечение

Основное уравнение расхода,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , измеряемого при помощи лотков Вентури, имеет вид

$$Q = 0,1941 \cdot C_e \cdot C_v \cdot b \cdot H^{3/2}, \text{ м}^3 / \text{ час}$$

где  $b$  — ширина горловины лотка, м;

$H$  — напор в контрольном створе, м;

$C_e$  — коэффициент расхода (0,927—0,988);

$C_v$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости в подводящем канале (1,002—1,147).

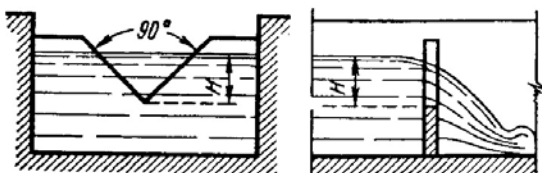


Рисунок 5 - Треугольный водослив с тонкой стенкой

Треугольный равнобедренный незатопленный водослив с тонкой стенкой (рис. 5) является распространенным измерителем расходов. Чаще всего применяется водослив в форме прямоугольного треугольника с углом при вершине  $90^\circ$ .

Расход воды на таком водосливе определяют по формуле:

$$Q = 1,343 \cdot H^{2,47}, \text{ м}^3 / \text{ сек}$$

Для измерения расхода воды в открытых каналах на канализационных станциях применяют также лотки Паршаля, работающие по принципу сжатия потока.

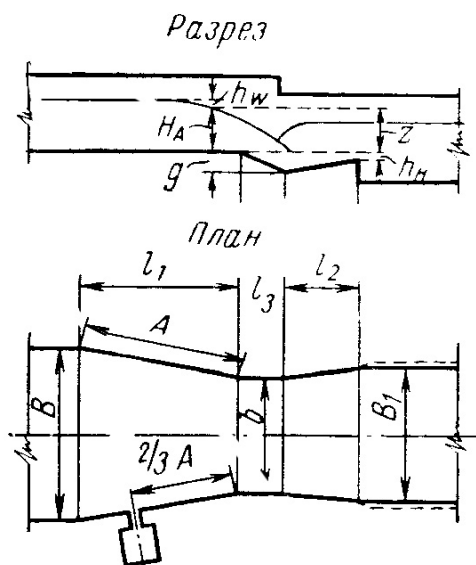


Рисунок 6 - Лоток Паршаля

где  $b$  — ширина горловины лотка, м;  
 $H_A$  — глубина воды в точке измерения напора, м;  
 $\alpha$  — показатель степени, зависящий от ширины горловины лотка (по справочным данным).

Достоинства:

- 1) потери напора меньше, чем в измерительных водосливах,
- 2) они не создают препятствий для прохождения твердых частиц, которые могут быть в сточной воде.

Конструкция лотка стандартная (рис. 6). Водомерный лоток этого типа состоит из следующих основных частей: подводящего раструба, горловины и отводящего раструба.

Расход сточных вод  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, при свободном истечении определяют по формуле:

при  $b=0,3-1,5$  м

$$Q = 2,365 \cdot b \cdot H_A^\alpha, \text{ м}^3 / \text{сек}$$

#### 14.4. Вспомогательные здания и сооружения очистной станции.

В составе очистной станции предусматриваются:

- а) устройства для равномерного распределения сточных вод между отдельными элементами очистных сооружений;
- б) устройства для выключения из работы, опорожнения и промывки сооружений и трубопроводов при их ремонте, очистке и т. п.;
- в) устройства для аварийного сброса сточных вод до и после сооружений механической очистки;
- г) устройства для замера количества сточных вод, сырого осадка, возвратного и избыточного активного ила, расхода воздуха, пара и газа;
- д) установка автоматических пробоотборников и приборов, регистрирующих качественные показатели сточной воды, ила и осадка.

Кроме основных производственных сооружений на территории станции в зависимости от местных условий располагаются вспомогательные и обслуживающие объекты: котельная, мастерские, воздуходувная, трансформаторные подстанции, склад хлора, проходная, гараж, административный корпус, лаборатория и др.

Для технологического и санитарного контроля работы сооружений проектируются лаборатории с отделениями для физико-химического и бактериологического анализа и вспомогательными помещениями (мойка посуды, весовая, кладовая и др.). Лаборатории располагаются в общем блоке с административно-бытовыми помещениями.

Для производства текущего и среднего ремонта оборудования предусматривается мастерская, в состав которой входят ремонтно-механическое, электроремонтное отделения и аппаратная КИП.

Для хранения нормативных запасов строительных материалов, резервного оборудования и арматуры предусмотрен склад, состоящий из закрытого и открытого (с навесом) отделений.

Мастерские, помещение для стоянки машин и склад проектируются в общем здании.

Электроснабжение основных токоприемников станции предусмотрено по 2-й категории надежности питания с допустимым перерывом не свыше получаса (электроснабжение от двух независимых источников). На площадке проектируется трансформаторная подстанция на два трансформатора. Для теплоснабжения проектируются котельные с водогрейными котлами.

На площадке очистных сооружений предусматривается хозяйственно-противопожарный и технический водопровод. В системе технического водопровода используется вода после вторичных отстойников.

#### *14.5. Генпланы очистных станций.*

Генеральный план разрабатывается после того, как определены - количество и размеры всех очистных сооружений, а также зданий, входящих в комплекс очистной станции. Генеральный план очистной станции в зависимости от ее размеров составляется в масштабе 1 :500 или 1 : 1000.

Основой генплана является принятая технологическая схема.

При разработке генплана следует руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Месторасположение отдельных сооружений и общая планировка очистной станции должны обеспечить наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод; все сооружения должны быть доступны для ремонта и обслуживания.

2. Компоновка всех сооружений должна обеспечить возможность строительства очистной станции по очередям и последующего расширения ее в связи с увеличением притока сточных вод.

3. Протяженность коммуникаций должна быть по возможности минимальной.

4. Все сооружения должны быть расположены более компактно. Целесообразно блокировать отдельные сооружения в группы. Рекомендуемый коэффициент застройки - 0,7.

5. Разрывы между отдельными сооружениями должны быть минимальными и в то же время обеспечивать возможность очередности их строительства.

Предварительно они могут намечаться следующими:

для группы одноименных сооружений - 2-3 м,

для группы разноименных сооружений - 5-10 м,

для группы сооружений механической и биологической очистки - 15-20 м,

для сооружений и иловых площадок с учетом обсадки их деревьями – 25-30 м,

для метантенков, газгольдеров и других сооружений (в зависимости от их

ёмкости) - 20-50 м,

для расходного склада хлора: расстояние от административных и бытовых зданий - 100 м, от производственных зданий, в которых постоянно находится обслуживающий персонал - 50 м, от производственных зданий, в которых обслуживающий персонал бывает периодически - 30 м.

6. К каждому сооружению должен быть обеспечен подъезд транспорта для доставки материалов при ремонте.

7. На генплане станции следует указать насыпи и выемки. Для уменьшения земляных работ экономически выгодно при устройстве насыпей и выемок соблюдать равенство их объёмов.

8. Сооружения следует располагать симметрично, обеспечивая равномерное распределение сточной жидкости между отдельными сооружениями.

9. Кроме основных сооружений на генплане следует нанести все вспомогательные сооружения: котельную, ремонтные мастерские, гараж, склады, административное здание с лабораторией, насосные и воздуходувные станции, трансформаторную площадку, сети местной канализации и другие.

10. В коммуникациях очистной станции следует предусмотреть возможность выключения из работы для ремонта групп сооружений и отдельных сооружений, а также аварийный выпуск, позволяющий выключить из работы в крайнем случае всю станцию.

11. Территория станции должна быть ограждена, благоустроена, озеленена, освещена и иметь дороги с искусственными покрытиями и пешеходные дорожки к каждому из сооружений и зданий.

Площадь озеленения должна составлять не менее 15-20% площади в пределах границ территории очистных сооружений.

На генплане обязательно наносятся горизонтали и роза ветров.

Генплан должен быть увязан с ситуационным планом.

#### *14.6. Высотные схемы расположения очистных сооружений.*

Профиль составляется по наиболее неблагоприятному (длинному) направлению движения воды. При этом высотная схема расположения очистных сооружений должна быть составлена так, чтобы обеспечивалось, как правило, самотечное движение воды от одного сооружения к другому. Движение осадков также по возможности должно быть самотечным, но зачастую осадок приходится перекачивать.

Для самотечного движения сточной воды по всем сооружениям очистной станции необходимо, чтобы отметка поверхности воды в подводящем канале превышала отметку воды в водном объекте при высоком горизонте на величину, достаточную для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям с учётом запаса 1,0÷1,5 м, который необходим для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водный объект. Нормальная работа очистной станции зависит от правильного определения гидравлических потерь.

Кроме того, нужно предусмотреть некоторый запас напора с расчётом на будущее расширение очистной станции.

Построению профиля предшествует гидравлический расчет коммуникаций.

Потери напора в коммуникациях определяют по формуле:

$$h = h_l + h_{\text{мест}}$$

где  $h_l$  - потери напора по длине, м;

$h_{\text{мест}}$  - потери на местные сопротивления, м.

$$h_l = i \cdot l$$

$$h_{\text{мест}} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

где  $i$  - уклон каналов, лотков, трубопроводов;

$l$  - длина участка, м;

$\xi$  - коэффициент местных сопротивлений;

$v$  - скорость движения сточных вод на расчетном участке, м/с;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Для предварительных расчетов потери в сооружениях очистной станции можно принять по справочной литературе.

Сточные воды на очистных сооружениях движутся по открытым лоткам и каналам. Каналы и лотки рассчитываются с коэффициентом 1,4 на максимальный секундный пропуск воды. Вода к некоторым сооружениям (например, к радиальным отстойникам) подводится дюкерными трубопроводами.

При составлении профилей надо предусматривать, чтобы каждое сооружение было установлено на плотном, нетронutom грунте. Если необходимо поместить сооружение целиком в насыпи, то оно должно иметь фундаменты, опирающиеся на материковый грунт.

Горизонтальный масштаб для этих профилей принимают такой же, как и для плана расположения сооружений очистной станции, т. е. 1 : 500 или 1 : 1000, а вертикальный— 1 : 50 или 1 : 100. Профиль «по воде» представляет собой развернутый разрез по сооружениям, сделанный по самому длинному пути движения воды от подводящего канала до выпуска в водоем. Профиль «по движению осадка» начинается от выпуска осадка из первичных отстойников и доводится до сооружений по обработке осадка.

На профилях должны быть показаны отметки уровня воды, отметки лотков, каналов, труб и других важных точек сооружений, а также отметки как естественной, так и спланированной поверхности земли.

## Тема 15. Очистка сточных вод малонаселённых мест и отдельно расположенных объектов.

(Теоретический раздел)

### 15.1. Схемы очистки сточных вод малых населенных пунктов и отдельно стоящих объектов.

### 15.2. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод (фильтрующий колодец, поля подземной фильтрации, фильтрующие траншеи, циркуляционные окислительные каналы).

*15.1. Схемы очистки сточных вод малых населенных пунктов и отдельно стоящих объектов.*

К малой канализации относятся сети и сооружения, предназначенные для отведения и очистки бытовых и близких к ним по своему составу производственных сточных вод в количестве до 1400 м<sup>3</sup>/сутки.

Выбор способа очистки небольших количеств сточных вод, зависит от местных условий: возможности выделения площади земли под очистные сооружения, удаленности этой площади от жилья, топографии местности, грунтовых, гидрологических и климатических условий, характера и места расположения водоема, в который могут быть спущены очищенные воды.

В малых и поселковых системах канализации в схемах очистных сооружений рекомендуется применять:

- 1) Для механической очистки сточных вод:
  - а) септики – при суточном расходе до 25 м<sup>3</sup>/сут;
  - б) решетки, песколовки, двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели - при суточном расходе более 25 м<sup>3</sup>/сут;
- 2) Для биологической очистки сточных вод:
  - а) поля подземной фильтрации, фильтрующие колодцы, песчано-гравийные фильтры - при суточном расходе до 15 м<sup>3</sup>/сут;
  - б) поля фильтрации - при суточном расходе до 200 м<sup>3</sup>/сут;
  - в) капельные биофильтры - при суточном расходе до 1000 м<sup>3</sup>/сут;
  - г) биологические пруды, циркуляционные окислительные каналы и аэротенки, работающие по принципу продленной аэрации;
  - д) компактные установки.

Также в схемах очистных сооружений присутствуют вторичные отстойники, хлораторные и контактные резервуары, иловые площадки.

*15.2. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод (фильтрующий колодец, поля подземной фильтрации, фильтрующие траншеи, циркуляционные окислительные каналы).*

Фильтрующие колодцы. Для очистки сточных вод при расходах до 1,0 м<sup>3</sup>/сут включ. после септика в песчаных и супесчаных грунтах следует применять фильтрующие колодцы, выполненные из железобетонных колец (рис. 1).

Днища фильтрующих колодцев засыпаются слоем гравия. По гравию насыпается слой песка толщиной 200 мм. Высота загрузки колодца фильтрую-

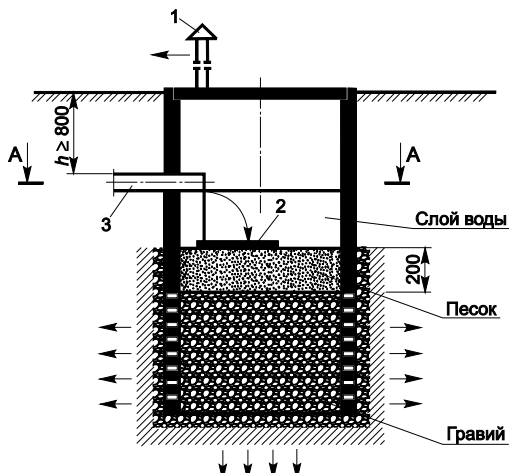


Рисунок 1 - Фильтрующий колодец

- 1 — вентиляционная труба;
- 2 — отражающая плита;
- 3 — подача сточных вод

щим материалом должна быть не более 1,0 м. Днища и стенки фильтрующих колодцев снаружи обсыпается слоем щебня или гравия с крупностью частиц от 40 до 60 мм.

В нижней части фильтрующих колодцев следует устраивать отверстия диаметром от 10 до 15 мм, располагая их друг от друга по высоте и ширине на расстоянии от 100 до 120 мм.

Фильтрующая поверхность колодца состоит из площади его дна и перфорированных стенок.

### Поля подземной фильтрации

Поля подземной фильтрации следует применять для полной биологической очистки сточных вод, при расходе сточных вод более 1,0 м<sup>3</sup>/сут, в песчаных и супесчаных грунтах. В состав очистных сооружений с полями подземной фильтрации входят септик, дозирующая камера, распределительные трубопроводы и оросительная сеть.

Оросительную сеть следует проектировать из дренажных пластмассовых гофрированных или керамических труб диаметром 110 или 125 мм. Расстояние от поверхности земли до верха трубы — не менее 0,5 м, уклон — не менее 0,02.

Оросительные трубы рекомендуется укладывать на слой подсыпки толщиной от 20 до 50 см из гравия, мелкого хорошо спекшегося котельного шлака, щебня или крупнозернистого песка.

На концах труб оросительной сети следует устанавливать вентиляционные стояки.

Схема устройства полей подземной фильтрации приведена на рисунке 2.

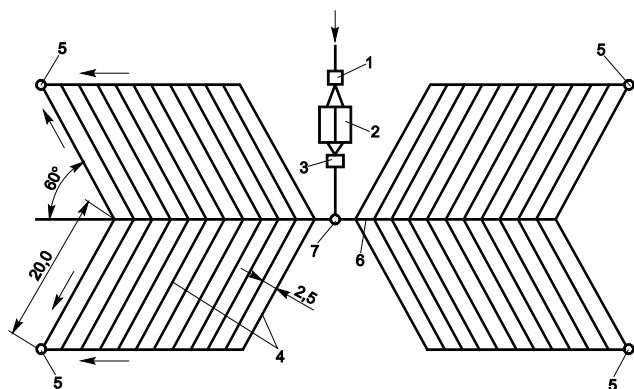


Рисунок 2 - Поля подземной фильтрации

- 1 — распределительный колодец;
- 2 — септик;
- 3 — дозирующая камера;
- 4 — оросительные трубы;
- 5 — вентиляционная труба;
- 6 — распределительная труба;
- 7 — колодец

### Фильтрующие траншеи

Фильтрующие траншеи заполняются слоем крупнозернистого песка, в который уложены оросительная и дренажная сети, обсыпанные мелким гравием или щебнем слоем до 20 см. Сверху слой крупнозернистого песка должен быть перекрыт слоем торфа или перегноя толщиной 0,5 м и местным грунтом. Оросительную и дренажную сети следует проектировать аналогично оросительной

сети полей подземной фильтрации.

Ширина траншеи должна быть не менее 0,5 м. Расстояние между дренажными и оросительными сетями по высоте должно быть от 0,8 до 1,0 м. Оросительную сеть необходимо закладывать на глубину не менее 0,5 м от поверхности земли.

Длина фильтрующей траншеи не должна превышать 30 м. Расстояние между осями отдельных параллельно расположенных траншей должно приниматься в пределах 3 м.

Диаметр труб оросительной и дренажной сетей должен приниматься равным 110 или 125 мм. Трубы следует прокладывать с уклоном 0,005.

Схема устройства фильтрующей траншеи приведена на рисунке 3.

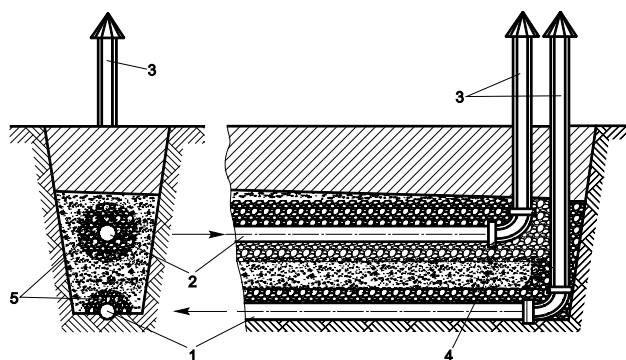


Рисунок 3 - Фильтрующая траншея  
 1 — дренажная сеть;  
 2 — оросительная сеть;  
 3 — вентиляционные трубы;  
 4 — засыпка крупнозернистым песком;  
 5 — гравийная обсыпка

Циркуляционные окислительные каналы (ЦОК) имеют замкнутую форму в плане и оснащены механическими аэраторами, насыщающими сточную жидкость кислородом, перемешивающими ее и поддерживающими активный ил во взвешенном состоянии. По сути, циркуляционные окислительные каналы являются аэротенками, работающими в режиме продленной аэрации с низкими нагрузками на активный ил. Примерный план очистной станции с циркуляционным окислительным каналом представлен на рис. 4.

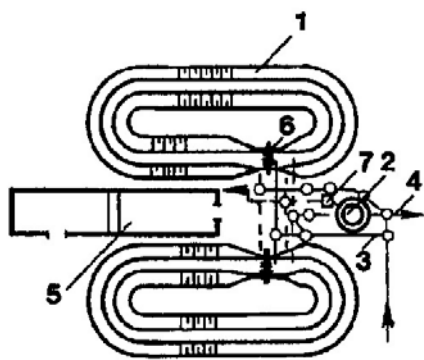


Рисунок 4 - Циркуляционные окислительные каналы:  
 1 - ЦОК; 2 - вторичный отстойник; 3 - подача неочищенных сточных вод; 4 - выпуск очищенных сточных вод; 5 - иловые площадки; 6 - роторные аэраторы; 7 - иловая насосная станция

Обычно циркуляционные окислительные каналы выполняют трапецеидального сечения глубиной около 1 м. Подачу сточных вод осуществляют перед аэраторами, которые устанавливают в начале прямого участка в 10-12 м от поворота. В качестве аэраторов применяются горизонтальные роторные аэраторы.

Средняя скорость течения воды в ЦОК должна быть не менее 0,4 м/с. Дозу ила в ЦОК принимают 3-4 г/л. Приросшая в ходе очистки на циркуляционных окислительных каналах биомасса, как правило, выделяется во вторичных вертикальных отстойниках. Недостатками циркуляционных окислительных каналов являются их высокая энергоемкость и неприспособленность к температурным колебаниям.



## 2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

[\(Структура\)](#)

*2.1. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Технология очистки сточных вод» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».*

*2.2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология очистки сточных вод» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

**Кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов**

## **Методические указания**

к выполнению практических занятий по дисциплине

**«Технология очистки сточных вод»**

для студентов специальности

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных  
ресурсов»

Брест 2022

УДК 628.2.001.2 (075.8)  
ББК 38.761.2  
П47

Методические указания подготовлены для студентов ВУЗов специальности 1 - 70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающих курс «Технология очистки сточных вод».

В методических указаниях рассматриваются вопросы проектирования и расчёта городских очистных сооружений канализации. Приводятся примеры с определением расходов сточных вод, поступающих на очистную станцию, средних концентраций загрязнений общего стока с установлением допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах и выбором метода очистки и состава сооружений. Рассмотрено несколько примеров технологических расчётов для городских очистных станций различной производительности с разными составами сооружений. Примеры сопровождаются схемами, справочными и нормативными данными.

Составители: Т. И. Акулич, старший преподаватель  
С. В. Андreyuk, канд. техн. наук, доцент

Рецензенты: гл. специалист отдела комплексного проектирования № 2 УП «Институт Брестстройпроект» С. А. Новик;  
заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ,  
канд. техн. наук, доцент В. Г. Новосельцев.

Учреждение образования  
© «Брестский государственный технический университет», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. СОСТАВ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	5
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ СТОЧНЫХ ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ НА ОЧИСТНУЮ СТАНЦИЮ .....	6
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОБЩЕГО СТОКА	7
4. УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ .....	8
4.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления.....	8
4.2. Установление допустимых концентраций по показателю БПК <sub>5</sub> , показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему ..	8
4.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	10
4.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	10
5. ВЫБОР МЕТОДА ОЧИСТКИ И СОСТАВА СООРУЖЕНИЙ .....	11
6. РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ .....	14
7. ПРИМЕР РАСЧЁТА №1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 129300 М <sup>3</sup> /СУТКИ .....	14
7.1 Определение расчетных расходов поступающих сточных вод на очистную станцию .....	15
7.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей .....	16
7.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.....	18
7.3.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления.....	18
7.3.2. Установление допустимых концентраций по показателю БПК <sub>5</sub> , показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему. .....	18
7.3.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	19
7.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	19
7.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений. Составление технологической схемы очистки сточных вод .....	20
8. ПРИМЕР РАСЧЁТА №2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 26600 М <sup>3</sup> /СУТКИ.....	22
8.1 Определение расчетных расходов сточных вод поступающих на очистную станцию .....	22
8.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей .....	24
8.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.....	25
8.3.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления...25	
8.3.2. Установление допустимых концентраций по показателю БПК <sub>5</sub> , показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему	25
8.3.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	26
8.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	27
8.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений.....	27

Составление технологической схемы очистки сточных вод .....	27
9. ПРИМЕР РАСЧЁТА №3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 28100 М <sup>3</sup> /СУТКИ .....	29
9.1. Определение расходов сточных вод поступающих на очистную станцию .....	29
9.2. Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа населения.....	31
9.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.....	32
9.3.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления.....	32
9.3.2. Установление допустимых концентраций по показателям БПК <sub>5</sub> , ХПК, взвешенным веществам, аммоний иону, азоту общему, фосфору общему .....	32
9.3.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта .....	33
9.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток .....	34
9.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений.....	34
Составление технологической схемы очистки сточных вод .....	34
10. РАЗРАБОТКА ГЕНПЛАНА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ.....	37
11. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ПО ХОДУ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ .....	38
12. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОДНОГО ИЗ СООРУЖЕНИЙ .....	44
Приложение 1. Примерный процент разброса притока бытовых сточных вод на очистную станцию по часам суток .....	45
Приложение 2. Примерный процент разброса притока промышленных сточных вод на очистную станцию по часам смен.....	45

## ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в области очистки городских сточных вод проделана большая работа: разработаны новые технологии очистки сточных вод и обработки образующихся в процессе очистки осадков, созданы новые конструкции сооружений и оборудования, предложены новые методы расчета. Однако всё это ещё не находится в стадии совершенства и поэтому необходимо продолжить совершенствование проектно-сметного дела, повысить качество проектной документации, предусмотреть широкое применение прогрессивных научно-технических отечественных достижений, внедрение зарубежного передового опыта, повысить качество подготовки специалистов.

Это обязывает будущих специалистов в области водоснабжения, водоотведения, рационального использования и охраны водных ресурсов глубже овладеть знаниями, творчески подходить к решению вопросов связанных с их будущей работой.

Лекционные, практические, а также лабораторные занятия по дисциплине «Технология очистки сточных вод» проводятся согласно учебной программе. Формами контроля знаний студентов являются зачет и экзамен, а также разработка курсового проекта.

Выполнение курсового проекта необходимо для углубления, закрепления и обобщения знаний, полученных студентами во время теоретического обучения, а также приобретения практических навыков проектирования городских очистных станций.

### 1. СОСТАВ И ОБЪЁМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется на тему «Городская очистная станция».

В состав проекта входят: пояснительная записка и чертежи. В **пояснительной записке** должны быть освещены следующие вопросы:

1. Определение расходов, поступающих на очистную станцию.
2. Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей.
3. Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.
4. Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений.
5. Составление технологической схемы очистной станции.
6. Описание и расчет сооружений, входящих в состав очистной станции (по движению воды и осадков).
7. Вспомогательные здания и сооружения очистной станции.
8. Разработка генерального плана станции очистки сточных вод.
9. Гидравлический расчет коммуникаций очистной станции.
10. Высотное проектирование: составление профиля по движению «воды».
11. Конструирование одного из сооружений очистной станции (по указанию руководителя).

Пояснительная записка должна также включать реферат, введение, список используемой литературы.

Пояснительная записка оформляется в соответствии со стандартом университета.

Объём пояснительной записки в среднем составляет 60 страниц.

В начале записки прилагается задание на разработку проекта, выданное руководителем.

**Графическая часть** проекта составляет 2-3 листа чертежей формата А1:

1. Генплан очистной станции, выполненный в масштабе 1:500 или 1:1000 с указанием всех основных и вспомогательных зданий, сооружений, коммуника-

ций, дорог, насыпей и выемок. При этом иловые площадки и биопруды могут быть размещены на данном генплане только частично. Но они обязательно должны быть показаны полностью на ситуационном плане, который вычерчивается с нанесением части жилой застройки, ГКНС и водоёма в масштабе 1:5000, 1:10000 или 1:25000.

2. Чертёж одного из сооружений очистной станции (по указанию руководителя), выполненный в масштабе 1:50 или 1:100.

3. Профиль по ходу движения воды, выполненный в масштабах горизонтальном 1:500 или 1:1000 и вертикальном 1:100. По желанию студента профиль может быть выполнен отдельным чертежом, представленным в соответствующем разделе пояснительной записке.

Графическая часть оформляется в соответствии с ГОСТ 21.604-82.

Чертежи и пояснительная записка должны быть подписаны студентом.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ СТОЧНЫХ ВОД, ПОСТУПАЩИХ НА ОЧИСТНУЮ СТАНЦИЮ

Сооружения очистной станции должны быть рассчитаны на суммарный приток бытовых и производственных сточных вод. Производительность станции выражает собой суммарный средний суточный расход бытовых и промышленных сточных вод:

$$Q_{\text{ср.сут.}} = Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт}} + Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{пр}}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт}}$ ,  $Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{пр}}$  - средние суточные расходы соответственно бытовых и промышленных сточных вод.

Расход бытовых сточных вод определяется по формуле:

$$Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{быт}} = \frac{q_n \cdot N}{1000}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2.2)$$

где  $q_n$  - норма водоотведения, л/(сут·чел);

$N$  - расчетное число жителей.

Расходы производственных сточных вод вычисляются по формуле:

$$Q_{\text{ср.сут.}}^{\text{пр}} = q_n' \cdot N', \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2.3)$$

где  $q_n'$  - норма водоотведения на единицу продукции, м<sup>3</sup>;

$N'$  - число единиц продукции, выпускаемых за сутки.

Как правило, сточные воды подаются на очистные сооружения с помощью насосной станции. Расчет большинства сооружений производят на максимальный и проверяется на минимальный расходы, подаваемые насосами. Следовательно, расчету очистных сооружений должен предшествовать расчет насосной станции с целью определения графика подачи стоков по часам суток. В данном проекте допускается упрощение: принимаем подачу сточных вод насосной станцией как приток сточных вод.

При определении притока бытовых сточных вод на городскую очистную станцию по часам суток пользуются процентом разброса из [2], который приводится в приложении 1.

При определении притока на очистную станцию промышленных сточных вод процесс разброса по часам смены приводится в приложении 2.

Затем определяется суммарный приток на очистную станцию всех сточных вод по часам суток в табличной форме (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Расчет подачи сточных вод на городскую очистную станцию

часы суток	приток сточных вод от населе- ния		приток сточ- ных вод от п/п		суммарный приток сточных вод, м <sup>3</sup> /ч
	%	м <sup>3</sup> /ч	%	м <sup>3</sup> /ч	
1	2	3	4	5	6
0-1					
1-2					
.....					
22-23					
23-24					
Итого					

В данном разделе должны быть определены следующие характерные расходы сточных вод: средние – суточный, часовой, секунднй; максимальные – часовой, секунднй; минимальные – часовой и секунднй.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОБЩЕГО СТОКА

Определение необходимой степени очистки сточных вод и расчет канализационных очистных сооружений следует производить по основным показателям загрязнений:

- взвешенным веществам;
- суммарному содержанию в воде органических загрязняющих веществ, оцениваемому по БПК<sub>5</sub>;
- биогенным элементам (азоту и фосфору).

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формуле:

$$C_{\text{общ}} = \frac{C_{\text{быт}} \cdot Q_{\text{быт}} + \sum C_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}}}{Q_{\text{быт}} + \sum Q_{\text{пр}}}, \text{ мг/дм}^3 \quad (3.1)$$

где  $C_{\text{быт}}$  - концентрация загрязняющих веществ в бытовых стоках, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{пр}}$  - концентрации загрязняющих веществ в стоках промышленных предприятий, мг/дм<sup>3</sup>;

$Q_{\text{быт}}$ ,  $Q_{\text{пр}}$  - расходы сточных вод соответственно бытовых и промышленных предприятий, м<sup>3</sup>/сут.

Концентрацию загрязняющих веществ в бытовых стоках определяют по формуле:

$$C_{\text{быт}} = \frac{a \cdot 1000}{q_n}, \text{ мг/дм}^3 \quad (3.2)$$

где:  $a$  - количество загрязняющих веществ, вносимых одним человеком в сточные воды, г/(чел.·сут), определяемое по таблице 10.1 [8];

$q_n$  - норма водоотведения на одного человека, л/сут·чел.

Концентрации загрязняющих веществ производственных сточных вод как правило даются в задании на проектирование или определяются по ссылкам на опытные данные промышленных предприятий.

Концентрации загрязняющих веществ вычисляют по взвешенным веществам, БПК<sub>5</sub>, ХПК, биогенным элементам (азоту и фосфору) и характерным для данного города ингредиентам.

Для вычисления некоторых показателей, например, количества песка задерживаемого в песколовках, подсчитывают приведенное число жителей:

$$N_{\text{привед}} = N + N_{\text{экв}} \quad (3.3)$$



где N - расчетное население города;

$N_{\text{экв}}$  - эквивалентное число жителей, определяемое по формуле:

$$N_{\text{экв}} = \frac{C_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}}}{a}, \text{ ЖИТ} \quad (3.4)$$

Приведенное число жителей определяют отдельно по взвешенным веществам и по БПК<sub>5</sub>.

#### 4. УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОДАХ

##### 4.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления

Коэффициент смешения определяют по формуле:

$$K_{\text{см}} = \frac{1 - e^{-K_{\text{г.у.}} \cdot \sqrt[3]{l}}}{1 + \left(\frac{Q}{q}\right) \cdot e^{-K_{\text{г.у.}} \cdot \sqrt[3]{l}}} \quad (4.1)$$

где Q - расход воды (при 95%-ной обеспеченности) в водотоке у места выпуска сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

q - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;

l - длина русла от места выпуска сточных вод до расчетного створа по фарватеру водотока, м;

$K_{\text{г.у.}}$  - коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, определяется по формуле:

$$K_{\text{г.у.}} = K_{\text{вып}} \cdot K_{\text{изв}} \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{q}} \quad (4.2)$$

где  $K_{\text{вып}}$  - коэффициент, учитывающий место расположения выпуска, при береговом выпуске – 1, при русловом – 1,5;

$K_{\text{изв}}$  - коэффициент извилистости русла, определяется по формуле:

$$K_{\text{изв}} = \frac{l_{\text{ф}}}{l_{\text{пр}}} \quad (4.3)$$

D - коэффициент турбулентной диффузии, определяется по формуле:

$$D = \frac{v_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{200} \quad (4.4)$$

где  $v_{\text{ср}}$  - средняя скорость течения воды в створе выпуска сточных вод, м/с;

$H_{\text{ср}}$  - средняя глубина реки, м.

Для определения кратности разбавления в расчетных створах следует применять формулу:

$$n = \frac{K_{\text{см}} \cdot Q + q}{q} \quad (4.5)$$

##### 4.2. Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему

Допустимые концентрации загрязняющих веществ по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему устанавливаются по приложению 1 [6], в зависимости от массы органических веществ, содержащихся в сточных водах, поступающих на очи-

стные сооружения, выраженной по эквивалентному населению (ЭН) или по БПК<sub>5</sub>, (M<sub>БПК<sub>5</sub></sub>, кг/сут).

Эквивалент населения, ЭН, чел, следует определять по формуле

$$\text{ЭН} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a}, \text{ чел} \quad (4.6)$$

где Q<sub>ср.сут</sub> — среднесуточный суммарный расход производственных и бытовых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

C<sub>общ</sub><sup>БПК<sub>5</sub></sup> — концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, оцениваемых по БПК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>, определяемая по п. 3;

a — количество загрязняющих веществ, оцениваемых по БПК<sub>5</sub>, вносимых одним человеком в сточные воды, г/(чел·сут), определяемое по таблице 10.1 [8].

Масса органических веществ в составе сточных вод, M<sub>БПК<sub>5</sub></sub>, кг/сут, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле:

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{1000}, \text{ кг / сут} \quad (4.7)$$

где C<sub>общ</sub><sup>БПК<sub>5</sub></sup> - концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих на очистные сооружения, оцениваемая по БПК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>, определяемая по п. 3;

Q<sub>ср.сут</sub> - среднесуточный суммарный расход производственных и бытовых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Допустимая концентрация загрязняющих веществ в очищенных сточных водах не должна превышать показателей, приведенных в таблице 4.1 (приложение 1 [6]).

Таблица 4.1 - Допустимые концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах в зависимости от массы органических веществ в составе сточных вод

Эквивалент населения (масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, ЭН (M <sub>БПК<sub>5</sub></sub> ))	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Аммоний-ион, мгN/дм <sup>3</sup>	Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>
До 500 (до 30 кг/сут)	125	25	30	25	н/н	н/н
501 – 2000 (от 30 до 120 кг/сут)	120	25	25	20	н/н	н/н
2001 – 10000 (от 120 до 600 кг/сут)	100	20	25	15	25	4,5
10001 – 100000 (от 600 до 6000 кг/сут)	80	20	20	15	20	3,0
Более 100001 (более 6000 кг/сут)	70	15	20	10	20	2,0

Примечание - н/н – показатель не нормируется

Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам может быть определена по формуле

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{общ}} - C_{\text{ДК}}}{C_{\text{общ}}} \cdot 100, \% \quad (4.8)$$

где  $C_{\text{общ}}$  — концентрация загрязняющего вещества в сточной воде до очистки, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{ДК}}$  - допустимая концентрация загрязняющего вещества в очищенных сточных водах, мг/дм<sup>3</sup>.

#### **4.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта**

Нормативы допустимых сбросов по другим показателям загрязняющих веществ, не указанных в таблице 4.1, устанавливаются по следующей методике.

Допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах без учета неконсервативности вещества (претерпевающего изменения в воде за счет химических и гидробиологических процессов),  $C_{\text{ДК}}$  (мг/дм<sup>3</sup>), рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ДК}} = [(n - 1)(C_{\text{ПДК}} - C_{\text{Ф}})] + C_{\text{ПДК}} \quad (4.9)$$

где  $n$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая по п. 4.1.

$C_{\text{ПДК}}$  – норматив предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде водотока, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{Ф}}$  – фоновая концентрация загрязняющего вещества в воде водотока выше выпуска сточных вод, мг/дм<sup>3</sup>.

Норматив предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде водотока принимается в зависимости от категории водотока - рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого или культурно-бытового водопользования. Как правило, сброс сточных вод осуществляется в рыбохозяйственные водные объекты. Качество воды рыбохозяйственных водных объектов в контрольных створах должно соответствовать [5].

Степень необходимой очистки по загрязняющему веществу определяется по формуле (4.8).

#### **4.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток**

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле

$$T_{\text{ов}} = n \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{ф}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

где  $T_{\text{ов}}$  - максимально допустимая температура отводимых сточных вод в водоток,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{ф}}$  - максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{доп}}$  - допустимое превышение температуры воды водотока,  $^\circ\text{C}$  (для рыбохозяйственных водных объектов принимается по [5]).

## **5. ВЫБОР МЕТОДА ОЧИСТКИ И СОСТАВА СООРУЖЕНИЙ**

Выбор методов очистки городских сточных вод производится на основании вычисленной степени очистки, с учётом состава поступающей на очистную станцию сточной воды и с учетом данных таблицы 5.1.

Состав сооружений следует выбирать с учетом производительности станции, характера грунтов, положения уровня грунтовых вод, климатических условий района, рельефа территории площадки, наличия земельных площадей, метода использования осадка и других местных условий. Примерный рекомендуемый состав сооружений, используемых для городских очистных станций, приведен в табл. 5.2.

Таблица 5.1 - Эффективность различных методов очистки

Метод очистки сточных вод	Эффект удаления примесей, % Остаточная концентрация примесей, мг/л					
	Взвешенные вещества	БПК <sub>5</sub>	ХПК	NH <sub>4</sub>	N <sub>общ</sub>	P <sub>общ</sub>
Механическая очистка	45 % – 64% —	20 % – 33 % —	20 % – 33 % —	9 % —	11 % —	11 % —
Биологическая очистка без нитрификации при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	— 20	— 15	— 70	40 % —	27 % —	33 % —
Биологическая очистка с нитрификацией при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут	— 20	— 15	— 70	— 5	27 % —	33 % —
Биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 %	— 20	— 15	— 70	— 5	70 % —	33 % – 35 % —
Биологическая очистка с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200 % и биологическим удалением фосфора	— 20	— 15	— 70	— 5	70 % —	75 % – 78 % —
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой в биологических прудах менее 2 сут	— 12	— 15	— 70	— 5	27 % – 70 % —	33 % – 78 % —
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с доочисткой на микрофильтрах	— 10	— 12	— 65	— 5	27 % – 70 % —	33 % – 78 % —
Биологическая очистка при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг·сут с симультанным реагентным осаждением	— 18	— 12	— 67	— 5	27 % – 70 % —	— 1–2

Таблица 5.2 - Рекомендуемые типы очистных сооружений

Наименование сооружений	Производительность очистной станции, м <sup>3</sup> /сут					
	до 300	до 5000	до 10000	до 30000	до 50000	свыше 50000
1	2	3	4	5	6	7
<b>Для механической очистки и обработки осадка</b>						
Решетки	+	+	+	+	+	+
Песколовки:						
тангенциальные	+	+	+	+	+	-
горизонтальные	-	+	+	+	+	+
с круговым движением	-	+	+	+	+	-
аэрируемые	-	-	-	+	+	+
Отстойники:						
двухъярусные	+	+	+	-	-	-
вертикальные	+	+	+	-	-	-
горизонтальные	-	-	-	+	+	+
радиальные	-	-	-	+	+	+
Песковые площадки или песковые бункера	+	+	+	+	+	+
Метантанки	-	-	+	+	+	+
Иловые площадки	+	+	+	+	+	+
Аэробные стабилизаторы	+	+	+	+	+	-
Вакуум-фильтры	-	-	-	+	+	+
Центрифуги	-	-	+	+	+	+
Термическая сушка	-	-	+	+	+	+
Хлораторные установки	+	+	+	+	+	+
<b>Для биологической очистки</b>						
Поля фильтрации или поля орошения	+	+	+	-	-	-
Биологические пруды	+	+	+	-	-	-
Капельные или дисковые биофильтры	+	+	+	-	-	-
Высоконагружаемые биофильтры	-	-	+	+	+	-
Аэротенки	+	+	+	+	+	+
Илоуплотнители	+	+	+	+	+	+

Примечание: 1. + рекомендуется, - не рекомендуется.

2. Совместно с биофильтрами и аэротенками проектируются вторичные отстойники.

3. Для доочистки биологически очищенных стоков применяются аэрируемые биопруды; многослойные, песчаные фильтры и другие сооружения [8].

Выбирая состав сооружений, следует принимать во внимание также условия подачи сточных вод на очистную станцию. При перекачке сточных вод необходимо устраивать перед ними приёмную камеру. В состав очистной станции обязательно должны входить:

- водоизмерительное устройство;
- устройства для равномерного распределения сточных вод между отдельными сооружениями и секциями (распределительные чаши, каналы);
- устройства для выключения из работы, опорожнения и промывки;

-устройства для аварийного сброса сточных вод до и после сооружений механической очистки, перед насосными станциями (блока доочистки на фильтрах, подачи сточных вод на биофильтры и др.).

Кроме основных производственных сооружений на территории очистной станции располагаются вспомогательные здания и сооружения: воздухоподводящая илоциркуляционная, иловая и другие насосные станции; трансформаторная подстанция, лаборатория, здание АБК, мастерские, гаражи, склады, проходная и др.

## 6. РАСЧЁТ СООРУЖЕНИЙ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ

Расчеты очистных сооружений следует проводить в соответствии с рекомендациями СН [8]. Если допускаются отклонения от СН, требуется аргументированное обоснование этого со ссылками на соответствующую литературу. Рекомендуемая литература, которую следует использовать при расчётах сооружений – это [1-3].

Ниже приводятся три примера расчётов городских очистных станций с определением расходов сточных вод, поступающих на очистную станцию, средних концентраций загрязнений общего стока с установлением допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах и выбором метода очистки и состава сооружений.

Пример расчёта №1 – для городской станции большой производительности с использованием для биологической очистки сооружений аэротенков.

Пример расчёта №2 – для станции средней производительности с использованием для биологической очистки сооружений биофильтров.

Пример расчёта №3 – для станции средней производительности, на которой реализуется совместное удаление органических загрязнений и биогенных элементов (азота и фосфора) биологическим методом.

В рассматриваемых примерах используются разные сооружения не только биологической очистки, но также разные конструкции сооружений механической очистки и разные технологические схемы обработки осадков. Расчет принятых сооружений приведен в литературе [1].

При проектировании сооружений очистной станции следует стремиться к использованию типовых сооружений, так как это приводит к снижению себестоимости очистки сточных вод, упрощает строительство и эксплуатацию.

В тех случаях, когда применение таких сооружений ведёт к большому завышению расчётного объёма, используют сооружения нестандартных размеров. В последнее время зачастую используется зарубежное оборудование, имеющее определённые достоинства и повышающее надёжность работы очистной станции. В конечном итоге выбор типа сооружений и оборудования определяется технико-экономическим сравнением вариантов.

## 7. ПРИМЕР РАСЧЁТА №1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 129300 М<sup>3</sup>/СУТКИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ:

Местонахождение объекта канализования – Гродненская область

Количество жителей в городе – N=400 тыс. чел

Норма водоотведения –  $q_n=270$  л/(сут·чел)

Температура городских сточных вод –  $t_{гсв}=15^{\circ}\text{C}$

Концентрация нефтепродуктов городских сточных вод – 0,18 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) городских сточных вод – 0,35 мг/дм<sup>3</sup>

Данные по промышленному предприятию:

Количество производственных сточных вод –  $Q_{\text{пр}}=21300 \text{ м}^3/\text{сут}$

Режим работы предприятия (количество смен) - 3

Коэффициент неравномерности – 1,8

*Качественный состав производственных сточных вод:*

БПК<sub>5</sub> = 441,7 мг/дм<sup>3</sup>

ХПК = 550 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{\text{взв.}} = 200 \text{ мг/дм}^3$

Азот аммонийных солей  $N_{\text{амм.}} = 20 \text{ мг/дм}^3$

Азот общий  $N_{\text{общ.}} = 24 \text{ мг/дм}^3$

Фосфор общий  $P_{\text{общ.}} = 3 \text{ мг/дм}^3$

Среднемесячная температура сточных вод –  $t_{\text{п}}=16^{\circ}\text{C}$

Данные по водотоку:

Наименьший среднемесячный расход воды водотока года 95% обеспеченности в створе у места выпуска сточных вод –  $Q=13,5 \text{ м}^3/\text{с}$

Средняя глубина –  $H_{\text{ср}}=2,6 \text{ м}$

Средняя скорость течения –  $V_{\text{ср}}=0,55 \text{ м/с}$

длина реки по фарватеру –  $L_{\text{ф}}=0,5 \text{ км}$

длина реки по прямой –  $L_{\text{пр}}=0,5 \text{ км}$

тип водотока – река рыбохозяйственная 2 категории

*Качественный состав воды водотока:*

температура воды –  $t_{\text{р}} = 13^{\circ}\text{C}$

растворенный кислород –  $O_2=6,4 \text{ мг/дм}^3$

БПК<sub>5</sub> = 2,8 мг/дм<sup>3</sup>

ХПК = 4 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{\text{взв.}}=10 \text{ мг/дм}^3$

Азот аммонийных солей  $N_{\text{амм.}} = 0,18 \text{ мг/дм}^3$

Азот общий  $N_{\text{общ.}} = 2,4 \text{ мг/дм}^3$

Фосфор общий  $P_{\text{общ.}} = 0,09 \text{ мг/дм}^3$

Концентрация нефтепродуктов –  $0,01 \text{ мг/дм}^3$

Концентрация СПАВ (анион) –  $0,08 \text{ мг/дм}^3$

## 7.1 Определение расчетных расходов поступающих сточных вод на очистную станцию

Определяем расходы по формулам раздела 2:

$$Q_{\text{ср.сут}}^{\text{быт}} = \frac{270 \cdot 400000}{1000} = 108000 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

$$q_{\text{ср.сек}}^{\text{быт}} = \frac{108000}{24 \cdot 3,6} = 1250 \text{ л / с}$$

Производительность городской очистной станции:

$$Q_{\text{ср.сут}} = 108000 + 21300 = 129300 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Средний часовой расход:

$$Q_{\text{ср.час}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24} = \frac{129300}{24} = 5387,5 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.сек}} = \frac{Q_{\text{ср.час}}}{3,6} = \frac{5387,5}{3,6} = 1496 \text{ л / с}$$

Расчет подачи стоков по часам суток произведен в табличной форме (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Расчет подачи стоков на городскую очистную станцию



часы суток	приток сточных вод от населе- ния		приток сточ- ных вод от п/п		суммарный приток сточных вод, м <sup>3</sup> /ч
	%	м <sup>3</sup> /ч	%	м <sup>3</sup> /ч	
1	2	3	4	5	6
0-1	2,6	2808,00	8,5	603,5	3411,5
1-2	2,6	2808,00	9,5	674,5	3482,5
2-3	2,6	2808,00	9,5	674,5	3482,5
3-4	2,6	2808,00	22,5	1597,5	4405,5
4-5	2,6	2808,00	8,5	603,5	3411,5
5-6	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
6-7	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
7-8	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
8-9	4,8	5184,00	8,5	603,5	5787,5
9-10	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
10-11	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
11-12	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
12-13	4,7	5076,00	8,5	603,5	5679,5
13-14	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
14-15	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
15-16	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
16-17	4,8	5184,00	8,5	603,5	5787,5
17-18	4,7	5076,00	9,5	674,5	5750,5
18-19	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
19-20	4,8	5184,00	22,5	1597,5	6781,5
20-21	4,8	5184,00	8,5	603,5	5787,5
21-22	4,8	5184,00	9,5	674,5	5858,5
22-23	3	3240,00	9,5	674,5	3914,5
23-24	2,6	2808,00	22,5	1597,5	4405,5
Σ=	100	108000	300	21300	129300

Из таблицы 7.1 видно, что наибольший расход сточных вод с 7-8, 11-12, 15-16, 19-20 часов, минимальный с 0-1 часа, расходы сточных вод в это время составляют:

$$Q_{\text{час}}^{\text{max}} = 6781,5 \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad Q_{\text{час}}^{\text{min}} = 3411,5 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 1,884 \text{ м}^3 / \text{с}; \quad q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 0,948 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 1884 \text{ л} / \text{с}; \quad q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 948 \text{ л} / \text{с}.$$

## 7.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формулам раздела 3.

Концентрация загрязнений бытовых стоков по взвешенным веществам:

$$C_{\text{быт}}^{\text{взв}} = \frac{65 \cdot 1000}{270} = 240,74 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{быт}}^{\text{БПК}_5} = \frac{60 \cdot 1000}{270} = 222,22 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по ХПК:

$$C_{\text{быт}}^{\text{ХПК}} = \frac{120 \cdot 1000}{270} = 444,44 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту аммонийному:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{амм.}}} = \frac{10 \cdot 1000}{270} = 37,04 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{общ.}}} = \frac{12 \cdot 1000}{270} = 44,44 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по фосфору общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{P}_{\text{общ.}}} = \frac{2 \cdot 1000}{270} = 7,4 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по взвешенным веществам:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{взв}} = \frac{240,74 \cdot 108000 + 200 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 234,04 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{БПК}_5} = \frac{222,22 \cdot 108000 + 441,7 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 258,38 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по ХПК:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{ХПК}} = \frac{444,44 \cdot 108000 + 550 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 461,83 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту аммонийному:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{амм.}}} = \frac{37,04 \cdot 108000 + 20 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 34,23 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{общ.}}} = \frac{44,44 \cdot 108000 + 24 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 41,07 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по фосфору общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{P}_{\text{общ.}}} = \frac{7,4 \cdot 108000 + 3 \cdot 21300}{108000 + 21300} = 6,68 \text{ мг / дм}^3$$

Эквивалентное число жителей:

$$N_{\text{экв}}^{\text{взв}} = \frac{200 \cdot 21300}{65} = 65539 \text{ чел}$$

$$N_{\text{экв}}^{\text{БПК}_5} = \frac{441,7 \cdot 21300}{60} = 156804 \text{ чел}$$

Приведенное число жителей:

$$N_{\text{прив}}^{\text{взв}} = 400000 + 65539 = 465539 \text{ чел}$$

$$N_{\text{прив}}^{\text{БПК}_5} = 400000 + 156804 = 5556804 \text{ чел}$$

## 7.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах

### 7.3.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления.

Коэффициент смешения определяется по формуле (4.1):

$$K_{см} = \frac{1 - e^{-0,168 \cdot \sqrt[3]{500}}}{1 + \frac{13,5}{1,496} \cdot e^{-0,168 \cdot \sqrt[3]{500}}} = 0,22$$

Коэффициент извилистости реки по формуле (4.3):

$$\varphi = \frac{0,5}{0,5} = 1$$

Коэффициент турбулентной диффузии по формуле (4.4):

$$D = \frac{0,55 \cdot 2,6}{200} = 0,00715$$

Коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, по формуле (4.2):

$$K_{г.у.} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00715}{1,496}} = 0,168$$

Кратность разбавления перед расчетным пунктом водопользования по формуле (4.5):

$$n = \frac{0,22 \cdot 13,5 + 1,496}{1,496} = 2,99$$

### 7.3.2. Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему.

Эквивалент населения определяется по формуле (4.6):

$$\text{ЭН} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a} = \frac{129300 \cdot 258,38}{60} = 556809 \text{ чел}$$

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле (4.7):

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{1000} = \frac{258,38 \cdot 129300}{1000} = 33409 \text{ кг / сут}$$

Допустимую концентрацию загрязняющих веществ в очищенных сточных водах устанавливаем по таблице 4.1. Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам определяется по формуле (4.8).

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ВЗВ}} = 20 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{ВЗВ}} = \frac{234,04 - 20}{234,04} \cdot 100 = 91,5 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{БПК}_5} = 15 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{БПК}_5} = \frac{258,38 - 15}{258,38} \cdot 100 = 94,2 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ХПК}} = 70 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{ХПК}} = \frac{461,83 - 70}{461,83} \cdot 100 = 84,8 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{амм}}} = 10 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{N}_{\text{амм}}} = \frac{34,23 - 10}{34,23} \cdot 100 = 70,8 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{общ.}}} = 20 \text{ мг / дм}^3 \quad \mathcal{E}_{\text{N}_{\text{общ.}}} = \frac{41,07 - 20}{41,07} \cdot 100 = 51,3 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{P}_{\text{общ.}}} = 2 \text{ мг / дм}^3 \quad \mathcal{E}_{\text{P}_{\text{общ.}}} = \frac{6,68 - 2}{6,68} \cdot 100 = 70,1 \%$$

### 7.3.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта

Допустимая концентрация *нефтепродуктов* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9):

$$C_{\text{ДК}}^{\text{нефт.}} = [(2,99 - 1)(0,05 - 0,01)] + 0,05 = 0,13 \text{ мг / дм}^3$$

где  $n = 2,99$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.7.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,05$  мг/дм - норматив предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{ф}} = 0,01$  мг/дм - фоновая концентрация нефтепродуктов в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *нефтепродуктам* определяется по формуле (4.8):

$$\mathcal{E}_{\text{нефт.}} = \frac{0,18 - 0,13}{0,18} \cdot 100 = 27,8 \%$$

Достижимая эффективность удаления нефтепродуктов на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 70% [8].

Допустимая концентрация *СПАВ (анион)* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9):

$$C_{\text{ДК}}^{\text{СПАВ(анион.)}} = [(2,99 - 1)(0,1 - 0,08)] + 0,1 = 0,14 \text{ мг / дм}^3$$

где  $n = 2,99$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.7.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,1$  мг/дм - норматив предельно допустимой концентрации СПАВ (анион) в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{ф}} = 0,08$  мг/дм - фоновая концентрация СПАВ (анион) в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *СПАВ (анион)* определяется по формуле (4.8):

$$\mathcal{E}_{\text{СПАВ(анион.)}} = \frac{0,35 - 0,14}{0,35} \cdot 100 = 60 \%$$

Достижимая эффективность удаления СПАВ (анион) на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 65 % [8].

### 7.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле (4.10)

$$T_{\text{ов}} = 2,99 \cdot 3 + 13 = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где  $T_{\text{ф}} = 13^{\circ}\text{C}$  - максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время, принимается согласно заданию на проектирование;

$T_{\text{доп}} = 3^{\circ}\text{C}$  - допустимое превышение температуры воды водотока, принимается по [5].

#### 7.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений.

##### Составление технологической схемы очистки сточных вод

Для выбора метода очистки сточных вод в таблице 7.2. приведена качественная характеристика сточных вод до и после очистки, а также необходимая степень очистки сточных вод.

Таблица 7.2 - Качественная характеристика сточных вод

Наименование показателя	Значение показателя		Степень очистки, %
	до очистки	после очистки	
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	234,04	20	91,5
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	258,38	15	94,2
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	461,83	70	84,8
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	34,23	10	70,8
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	41,07	20	51,3
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	6,68	2	70,1
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,18	0,13	27,8
СПАВ (анион), мг/дм <sup>3</sup>	0,35	0,14	60

На основании анализа характеристики состава стоков (таблица 7.2), а также с учетом рекомендаций таблицы 5.1 назначаем биологическую очистку при нагрузке на активный ил 0,15 кг/кг-сут с доочисткой в биологических прудах менее 2 суток. Исходя из того, что на сооружения биологической очистки должны поступать сточные воды с содержанием взвешенных веществ не более 150 мг/дм<sup>3</sup>, назначаем механическую очистку. Учитывая среднесуточный расход сточных вод для биологической очистки принимаем аэротенки, для механической – решетки, горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды и отстойники. Для дезинфекции сточных вод назначаем хлорирование. Для смешения сточной воды с хлором предусматриваем смеситель, а для окисления загрязнений хлором – контактные резервуары. Так как требуется снижение концентрации биогенных элементов (азота и фосфора), то для этого предусмотрим доочистку в биологических прудах. Удаление специфических загрязнений (нефтепродуктов и СПАВ (анион)) будет осуществляться биологическим методом в аэротенках.

Для удаления осадков, образующихся на очистной станции, принимаем следующую схему. Отбросы, задерживаемые на решетках, удаляются на свалку. Песок из песколовки поступает в песковые бункера, откуда периодически вывозится и используется в строительных целях. Избыточный активный ил после вторичных отстойников уплотняется и проходит обработку в метантенках совместно с осадком из первичных отстойников, из которых сброшенная смесь поступает на механическое обезвоживание. Механически обезвоженный осадок подвергается термосушке с последующей утилизацией.

Принципиальная схема очистной станции представлена на рисунке 7.1.

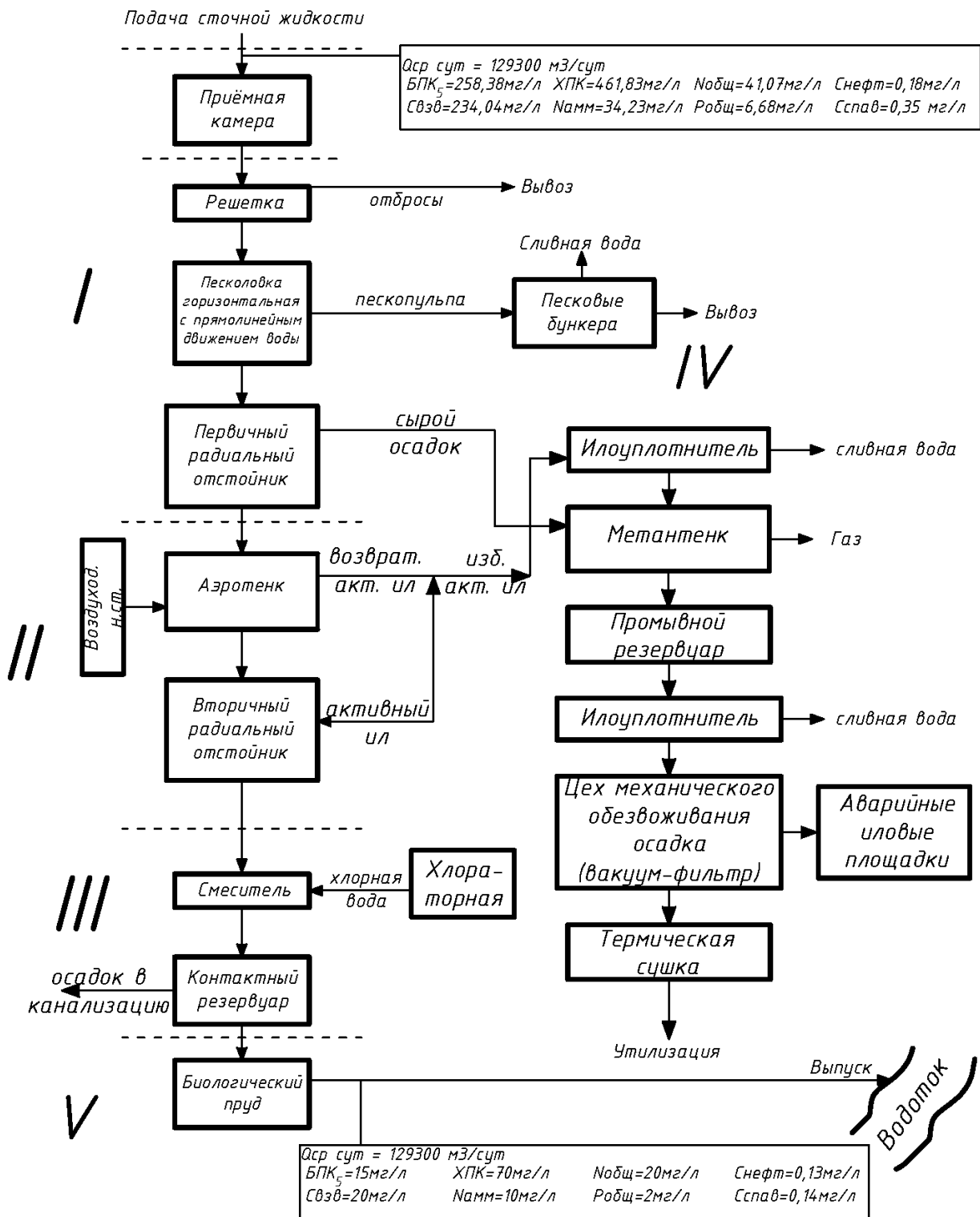


Рис. 7.1.- Принципиальная схема очистных сооружений:

- I - сооружения механической очистки сточных вод
- II - сооружения биологической очистки сточных вод
- III - сооружения для дезинфекции сточных вод
- IV - сооружения по обработке осадка сточных вод
- V - сооружения доочистки сточных вод

## 8. ПРИМЕР РАСЧЁТА №2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 26600 МЗ/СУТКИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ:

Местонахождение объекта канализования – Гродненская область

Количество жителей в городе –  $N=120$  тыс. чел

Норма водоотведения –  $q_n=150$  л/(сут·чел)

Температура городских сточных вод –  $t_{гсв}=16^{\circ}\text{C}$

Концентрация нефтепродуктов городских сточных вод –  $0,3$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) городских сточных вод –  $0,35$  мг/дм<sup>3</sup>

Данные по промышленному предприятию:

Количество производственных сточных вод –  $Q_{пр}=8600$  м<sup>3</sup>/сут

Режим работы предприятия (количество смен) - 2

Коэффициент неравномерности – 1,5

*Качественный состав производственных сточных вод:*

БПК<sub>5</sub> =  $140$  мг/дм<sup>3</sup>

ХПК =  $200$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{взв.} = 70$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей  $N_{амм.} = 10$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий  $N_{общ.} = 12$  мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий  $P_{общ.} = 3$  мг/дм<sup>3</sup>

Среднемесячная температура сточных вод –  $t_{п}=16^{\circ}\text{C}$

Данные по водотоку:

Наименьший среднемесячный расход воды водотока года 95% обеспеченности в створе у места выпуска сточных вод –  $Q=10,9$  м<sup>3</sup>/с

Средняя глубина –  $H_{ср}=2,6$  м

Средняя скорость течения –  $V_{ср}=0,465$  м/с

длина реки по фарватеру –  $L_{ф}=0,5$  км

длина реки по прямой –  $L_{пр}=0,5$  км

тип водотока – река рыбохозяйственная 2 категории

*Качественный состав воды водотока:*

температура воды –  $t_{р} = 15^{\circ}\text{C}$

растворенный кислород –  $O_2=6,38$  мг/дм<sup>3</sup>

БПК<sub>5</sub> =  $2,6$  мг/дм<sup>3</sup>

ХПК =  $4$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ –  $C_{взв.}=18,3$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей  $N_{амм.} = 0,18$  мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий  $N_{общ.} = 2,4$  мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий  $P_{общ.} = 0,09$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация нефтепродуктов –  $0,01$  мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) –  $0,08$  мг/дм<sup>3</sup>

### 8.1 Определение расчетных расходов сточных вод поступающих на очистную станцию

Определяем расходы по формулам раздела 2:

$$Q_{ср.сут}^{быт} = \frac{150 \cdot 120000}{1000} = 18000 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

$$q_{ср.сек}^{быт} = \frac{18000}{24 \cdot 3,6} = 208,3 \text{ л} / \text{с}$$

Производительность городской очистной станции:

$$Q_{ср.сут} = 18000 + 8600 = 26600 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Средний часовой расход:

$$Q_{\text{ср.час}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24} = \frac{26600}{24} = 1108,33 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.сек}} = \frac{Q_{\text{ср.час}}}{3,6} = \frac{1108,33}{3,6} = 307,87 \text{ л/с}$$

Как правило, сточные воды подаются на очистные сооружения с помощью насосной станции. Расчёт большинства сооружений производят на пропуск максимального расхода и проверяют отдельные сооружения на пропуск минимального расхода. Расчёт степени очистки производят на средний расход сточных вод.

Расчет графика подачи стоков по часам суток произведен в табличной форме (таблица 8.1). Из таблицы 8.1 видно, что наибольший расход сточных вод с 15-16 часов, минимальный с 0 до 5 часов, расходы сточных вод в это время составляют:

$$Q_{\text{час}}^{\text{max}} = 1848,1 \text{ м}^3 / \text{ч}; Q_{\text{час}}^{\text{min}} = 297 \text{ м}^3 / \text{ч};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 0,513 \text{ м}^3 / \text{с}; q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 0,0825 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 513 \text{ л/с}; q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 82,5 \text{ л/с}.$$

Таблица 8.1. - График притока сточных вод по часам суток на очистные сооружения

Часы суток	Приток сточных вод от населения		Приток сточных вод от п/п		Суммарные расходы сточных вод, м <sup>3</sup> /час
	%	м <sup>3</sup> /ч	%	м <sup>3</sup> /ч	
0-1	1,65	297	-	-	297
1-2	1,65	297	-	-	297
2-3	1,65	297	-	-	297
3-4	1,65	297	-	-	297
4-5	1,65	297	-	-	297
5-6	4,2	756	-	-	756
6-7	5,8	1044	-	-	1044
7-8	5,8	1044	-	-	1044
8-9	5,85	1053	10,3	442,9	1495,9
9-10	5,85	1053	10,5	451,5	1504,5
10-11	5,85	1053	10,5	451,5	1504,5
11-12	5,05	909	18,7	804,1	1713,1
12-13	4,2	756	10,3	442,9	1198,9
13-14	5,8	1044	10,5	451,5	1495,5
14-15	5,8	1044	10,5	451,5	1495,5
<b>15-16</b>	<b>5,8</b>	<b>1044</b>	<b>18,7</b>	<b>804,1</b>	<b>1848,1</b>
16-17	5,8	1044	10,3	442,9	1486,9
17-18	5,75	1035	10,5	451,5	1486,5
18-19	5,2	936	10,5	451,5	1387,5
19-20	4,75	855	18,7	804,1	1659,1
20-21	4,1	738	10,3	442,9	1180,9
21-22	2,85	513	10,5	451,5	964,5
22-23	1,65	297	10,5	451,5	748,5
23-24	1,65	297	18,7	804,1	1101,1
Итого	100	18000	200	8600	26600 м <sup>3</sup> /сут



## 8.2 Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа жителей

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формулам раздела 3.

Концентрация загрязнений бытовых стоков по взвешенным веществам:

$$C_{\text{быт}}^{\text{взв}} = \frac{65 \cdot 1000}{150} = 433,33 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{быт}}^{\text{БПК}_5} = \frac{60 \cdot 1000}{150} = 400 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по ХПК:

$$C_{\text{быт}}^{\text{ХПК}} = \frac{120 \cdot 1000}{150} = 800 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту аммонийному:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{амм.}}} = \frac{10 \cdot 1000}{150} = 66,67 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по азоту общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{N}_{\text{общ.}}} = \frac{12 \cdot 1000}{150} = 80 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений бытовых стоков по фосфору общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{P}_{\text{общ.}}} = \frac{2 \cdot 1000}{150} = 13,33 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по взвешенным веществам:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{взв}} = \frac{433,33 \cdot 18000 + 70 \cdot 8600}{26600} = 315,862 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{БПК}_5} = \frac{400 \cdot 18000 + 140 \cdot 8600}{26600} = 316 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по ХПК:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{ХПК}} = \frac{800 \cdot 18000 + 200 \cdot 8600}{26600} = 606 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту аммонийному:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{амм.}}} = \frac{66,67 \cdot 18000 + 10 \cdot 8600}{26600} = 48,34 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{N}_{\text{общ.}}} = \frac{80 \cdot 18000 + 12 \cdot 8600}{26600} = 58 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по фосфору общему:

$$C_{\text{общ.}}^{\text{P}_{\text{общ.}}} = \frac{13,33 \cdot 18000 + 3 \cdot 8600}{26600} = 9,99 \text{ мг / дм}^3$$

Эквивалентное число жителей:

$$N_{\text{экв}}^{\text{взв}} = \frac{70 \cdot 8600}{65} = 9262 \text{ чел}$$

$$N_{\text{экв}}^{\text{БПК}_5} = \frac{140 \cdot 8600}{60} = 20067 \text{ чел}$$

Приведенное число жителей:

$$N_{\text{прив}}^{\text{ВЗВ}} = 120000 + 9262 = 129262 \text{ чел}$$

$$N_{\text{прив}}^{\text{БПК}_5} = 120000 + 20067 = 140067 \text{ чел}$$

### 8.3 Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах

#### 8.3.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления

Коэффициент смешения определяется по формуле (4.1):

$$K_{\text{см}} = \frac{1 - e^{-0,27 \cdot \sqrt[3]{500}}}{1 + \frac{10,9}{0,308} \cdot e^{-0,27 \cdot \sqrt[3]{500}}} = 0,171$$

Коэффициент извилистости реки по формуле (4.3):

$$K_{\text{изв}} = \frac{0,5}{0,5} = 1$$

Коэффициент турбулентной диффузии по формуле (4.4):

$$D = \frac{0,465 \cdot 2,6}{200} = 0,00605$$

Коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, по формуле (4.2):

$$K_{\text{г.у.}} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00605}{0,308}} = 0,27$$

Кратность разбавления перед расчетным пунктом водопользования по формуле (4.5):

$$n = \frac{0,171 \cdot 10,9 + 0,308}{0,308} = 7,06$$

#### 8.3.2. Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему

Эквивалент населения определяется по формуле (4.6):

$$\text{ЭН} = \frac{Q_{\text{ср.сут}} \cdot C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5}}{a} = \frac{26600 \cdot 316}{60} = 140100 \text{ чел}$$

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле (4.7):

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{C_{\text{общ}}^{\text{БПК}_5} \cdot Q_{\text{ср.сут}}}{1000} = \frac{316 \cdot 26600}{1000} = 8406 \text{ кг / сут}$$

Допустимую концентрацию загрязняющих веществ в очищенных сточных водах устанавливаем по таблице 4.1 (табл. 5.1[1]). Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам определяется по формуле (4.8)

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ВЗВ}} = 20 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{ВЗВ}} = \frac{315,862 - 20}{315,862} \cdot 100 = 93,7 \%$$

$$C_{\text{ДК}}^{\text{БПК}_5} = 15 \text{ мг / дм}^3 \quad \text{Э}^{\text{БПК}_5} = \frac{316 - 15}{316} \cdot 100 = 95,2 \%$$

$$\begin{aligned}
C_{\text{ДК}}^{\text{ХПК}} &= 70 \text{ мг / дм}^3 & \mathcal{E}^{\text{ХПК}} &= \frac{606 - 70}{606} \cdot 100 = 88 \% \\
C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{амм}}} &= 10 \text{ мг / дм}^3 & \mathcal{E}^{\text{N}_{\text{амм}}} &= \frac{48,34 - 10}{48,34} \cdot 100 = 98 \% \\
C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{общ.}}} &= 20 \text{ мг / дм}^3 & \mathcal{E}^{\text{N}_{\text{общ.}}} &= \frac{58 - 20}{58} \cdot 100 = 65,5 \% \\
C_{\text{ДК}}^{\text{P}_{\text{общ.}}} &= 2 \text{ мг / дм}^3 & \mathcal{E}^{\text{P}_{\text{общ.}}} &= \frac{9,99 - 2}{9,99} \cdot 100 = 80 \%
\end{aligned}$$

### 8.3.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта

Допустимая концентрация *нефтепродуктов* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9):

$$C_{\text{ДК}}^{\text{нефт.}} = [(7,06 - 1)(0,05 - 0,01)] + 0,05 = 0,29 \text{ мг / дм}^3$$

где  $n = 7,06$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.8.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,05$  мг/дм - норматив предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в воде водотока, принят по [3];

$C_{\text{ф}} = 0,01$  мг/дм - фоновая концентрация нефтепродуктов в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *нефтепродуктам* определяется по формуле (4.8)

$$\mathcal{E}^{\text{нефт.}} = \frac{0,3 - 0,29}{0,29} \cdot 100 = 3,4 \%$$

Достигаемая эффективность удаления нефтепродуктов на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 70% [8].

Допустимая концентрация *СПАВ (анион)* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9):

$$C_{\text{ДК}}^{\text{СПАВ(анион.)}} = [(7,06 - 1)(0,1 - 0,08)] + 0,1 = 0,22 \text{ мг / дм}^3$$

где  $n = 7,06$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.8.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,1$  мг/дм - норматив предельно допустимой концентрации СПАВ (анион) в воде водотока, принят по [3];

$C_{\text{ф}} = 0,08$  мг/дм - фоновая концентрация СПАВ (анион) в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно задания на проектирование.

Степень необходимой очистки по *СПАВ (анион)* определяется по формуле (4.8)

$$\mathcal{E}^{\text{СПАВ(анион.)}} = \frac{0,35 - 0,22}{0,35} \cdot 100 = 59 \%$$

Достигаемая эффективность удаления СПАВ (анион) на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 65 % [8].

### 8.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле (4.10)

$$T_{\text{ов}} = 7,06 \cdot 3 + 15 = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

где  $T_{\text{ф}} = 15^{\circ}\text{C}$  - максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время, принимается согласно заданию на проектирование;

$T_{\text{доп}} = 3^{\circ}\text{C}$  - допустимое превышение температуры воды водотока, принимается по [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

### 8.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений Составление технологической схемы очистки сточных вод

Для выбора метода очистки сточных вод в таблице 8.2 приведена качественная характеристика сточных вод до и после очистки, а также необходимая степень очистки сточных вод.

Таблица 8.2 - Качественная характеристика сточных вод

Наименование показателя	Значение показателя		Степень очистки, %
	до очистки	после очистки	
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	315,86	20	93,7
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	316	15	95,2
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	606	70	88
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	48,34	10	98
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	58	20	65,5
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	9,99	2	80
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,29	3,4
СПАВ (анион), мг/дм <sup>3</sup>	0,35	0,22	59

На основании анализа характеристики состава сточных вод (таблица 8.2), а также с учетом рекомендаций таблицы 5.1 назначаем биологическую очистку с доочисткой на микрофильтрах. Исходя из того, что на сооружения биологической очистки должны поступать сточные воды с содержанием взвешенных веществ не более 150 мг/дм<sup>3</sup>, назначаем механическую очистку. Учитывая среднесуточный расход сточных вод для биологической очистки принимаем биофильтры, для механической – решетки, горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды и горизонтальные отстойники. Для дезинфекции сточных вод назначаем хлорирование. Для смешения сточной воды с хлором предусматриваем смеситель, а для окисления загрязнений хлором – контактные резервуары. Так как требуется снижение концентрации биогенных элементов (азота и фосфора), то для этого предусмотрим доочистку на барабанных сетках и микрофильтрах. Удаление специфических загрязнений (нефтепродуктов и СПАВ (анион)) будет осуществляться соответственно на сооружениях механической очистки и биологическим методом на биофильтрах.

Схема обработки осадка: отбросы, задерживаемые на решетках, удаляются на свалку; песок из песколовки поступает на песковые площадки, откуда периодически вывозится и используется в строительных целях; биологическая пленка после вторичных отстойников совместно с осадком из первичных отстойников поступает на механическое обезвоживание; механически обезвоженный осадок подвергается термосушке с последующей утилизацией.

Принципиальная схема очистной станции представлена на рисунке 8.1.

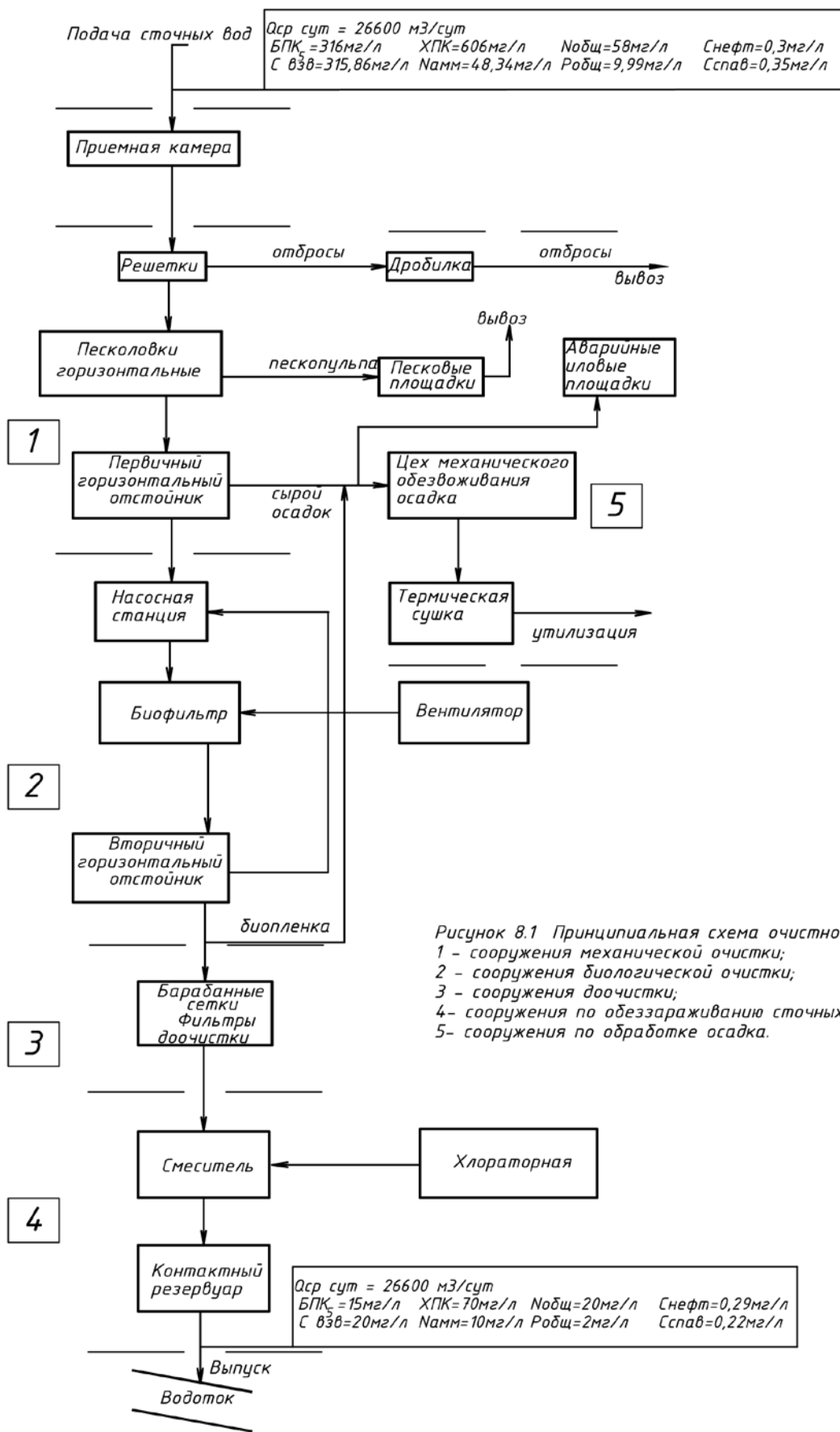


Рисунок 8.1 Принципиальная схема очистной станции:  
 1 – сооружения механической очистки;  
 2 – сооружения биологической очистки;  
 3 – сооружения доочистки;  
 4 – сооружения по обеззараживанию сточных вод;  
 5 – сооружения по обработке осадка.

## 9. ПРИМЕР РАСЧЁТА №3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 28100 М<sup>3</sup>/СУТКИ

### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ:

Местонахождение объекта канализования – Гродненская область

Количество жителей в городе – N=90 тыс. чел

Норма водоотведения – q<sub>n</sub>=240 л/(сут·чел)

Температура городских сточных вод – t<sub>гсв</sub>=15<sup>0</sup>С

Концентрация нефтепродуктов городских сточных вод – 0,45 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) городских сточных вод – 0,4 мг/дм<sup>3</sup>

Данные по промышленному предприятию:

Количество производственных сточных вод – Q<sub>ПР</sub>=6500 м<sup>3</sup>/сут

Режим работы предприятия (количество смен) - 2

Коэффициент неравномерности – 1,6

*Качественный состав производственных сточных вод:*

БПК<sub>5</sub> = 190 мг/дм<sup>3</sup>

ХПК = 280 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ – C<sub>взв.</sub> = 350 мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей N<sub>амм.</sub> = 15 мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий N<sub>общ.</sub> = 20 мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий P<sub>общ.</sub> = 4,5 мг/дм<sup>3</sup>

Среднемесячная температура сточных вод – t<sub>п</sub>=15<sup>0</sup>С

Данные по водотоку:

Наименьший среднемесячный расход воды водотока года 95% обеспеченности в створе у места выпуска сточных вод – Q=5,3 м<sup>3</sup>/с

Средняя глубина – H<sub>ср</sub>=2,7м

Средняя скорость течения – V<sub>ср</sub>=0,54 м/с

длина реки по фарватеру – L<sub>ф</sub>=0,5 км

длина реки по прямой – L<sub>ПР</sub>=0,5 км

тип водотока – рыбохозяйственный 1 категории

*Качественный состав воды водотока:*

температура воды – t<sub>р</sub> = 15<sup>0</sup>С

растворенный кислород – O<sub>2</sub>=6,2 мг/дм<sup>3</sup>

БПК<sub>5</sub> = 1,3 мг/дм<sup>3</sup>

ХПК = 2 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация взвешенных веществ – C<sub>взв.</sub> = 12 мг/дм<sup>3</sup>

Азот аммонийных солей N<sub>амм.</sub> = 0,2 мг/дм<sup>3</sup>

Азот общий N<sub>общ.</sub> = 2,0 мг/дм<sup>3</sup>

Фосфор общий P<sub>общ.</sub> = 0,19 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация нефтепродуктов – 0,03 мг/дм<sup>3</sup>

Концентрация СПАВ (анион) – 0,06 мг/дм<sup>3</sup>

### 9.1. Определение расходов сточных вод поступающих на очистную станцию

Определяем расходы по формулам раздела 2:

$$Q_{\text{ср.сут}}^{\text{быт}} = \frac{240 \cdot 90000}{1000} = 21600 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

$$q_{\text{ср.сек}}^{\text{быт}} = \frac{21600}{24 \cdot 3,6} = 250 \text{ л / с}$$

Производительность городской очистной станции:

$$Q_{\text{ср.сут}} = 21600 + 6500 = 28100 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

Средний часовой расход:

$$Q_{\text{ср.час}} = \frac{Q_{\text{ср.сут}}}{24} = \frac{28100}{24} = 1170,83 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Средний секундный расход:

$$q_{\text{ср.сек}} = \frac{Q_{\text{ср.час}}}{3,6} = \frac{1170,83}{3,6} = 325,23 \text{ л / с}$$

Расчёт подачи стоков по часам суток произведён в табличной форме (таблица 9.1).

Таблица 9.1 – Приток сточных вод по часам суток на очистные сооружения.

Часы	Приток сточных вод от населения		Приток сточных вод от промышленных предприятия		Суммарный приток сточных вод, м3/ч
	%	м3/ч	%	м3/ч	
1	2	3	4	5	6
0-1	1,75	378	-	-	378
1-2	1,75	378	-	-	378
2-3	1,75	378	-	-	378
3-4	1,75	378	-	-	378
4-5	1,75	378	-	-	378
5-6	4,5	972	-	-	972
6-7	5,4	1166,4	-	-	1166,4
7-8	5,4	1166,4	-	-	1166,4
8-9	5,75	1242	9	292,5	1534,5
9-10	5,75	1242	10,5	341,25	1583,25
10-11	5,75	1242	10,5	341,25	1583,25
11-12	5,15	1112,4	20	650	1762,4
12-13	4,6	993,6	9	292,5	1286,1
13-14	5,525	1193,4	10,5	341,25	1534,65
14-15	5,725	1236,6	10,5	341,25	1577,85
15-16	5,725	1236,6	20	650	1886,6
16-17	5,725	1236,6	9	292,5	1529,1
17-18	5,3	1144,8	10,5	341,25	1486,05
18-19	5,025	1085,4	10,5	341,25	1426,65
19-20	4,8	1036,8	20	650	1686,8
20-21	4,475	966,6	9	292,5	1259,1
21-22	3,15	680,4	10,5	341,25	1021,65
22-23	1,75	378	10,5	341,25	719,25
23-24	1,75	378	20	650	1028
$\Sigma$	100	21600	200	6500	28100

Из таблицы 9.1 видно, что наибольший расход сточных вод с 15 до 16 часов; минимальный с 0 до 5, расходы сточных вод в это время составляют:

$$Q_{\text{час}}^{\text{max}} = 1886,6 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad Q_{\text{час}}^{\text{min}} = 378 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 0,524 \text{ м}^3 / \text{с} \quad q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 0,105 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$q_{\text{сек}}^{\text{max}} = 524 \text{ л / с} \quad q_{\text{сек}}^{\text{min}} = 105 \text{ л / с}$$

## 9.2. Определение средних концентраций загрязнений общего стока, эквивалентного и приведенного числа населения

Определение средних концентраций загрязняющих веществ общего стока производят по формулам раздела 3.

Концентрации загрязнений бытовых стоков по взвешенным веществам:

$$C_{\text{быт}}^{\text{взв}} = \frac{65 \cdot 1000}{240} = 270,83 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{быт}}^{\text{БПК}_5} = \frac{60 \cdot 1000}{240} = 250 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по ХПК:

$$C_{\text{быт}}^{\text{ХПК}} = \frac{120 \cdot 1000}{240} = 500 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по аммоний иону:

$$C_{\text{быт}}^{\text{Нам}} = \frac{10 \cdot 1000}{240} = 41,67 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по азоту общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{Нобщ}} = \frac{12 \cdot 1000}{240} = 50 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрации загрязнений бытовых стоков по фосфору общему:

$$C_{\text{быт}}^{\text{Робщ}} = \frac{2 \cdot 1000}{240} = 8,33 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по взвешенным веществам:

$$C_{\text{см}}^{\text{взв}} = \frac{270,83 \cdot 21600 + 350 \cdot 6500}{28100} = 289,14 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{см}}^{\text{БПК}_5} = \frac{250 \cdot 21600 + 190 \cdot 6500}{28100} = 236,12 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по ХПК:

$$C_{\text{см}}^{\text{ХПК}} = \frac{500 \cdot 21600 + 280 \cdot 6500}{28100} = 449,11 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по аммоний иону:

$$C_{\text{см}}^{\text{Нам}} = \frac{41,67 \cdot 21600 + 15 \cdot 6500}{28100} = 35,5 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по азоту общему:

$$C_{\text{см}}^{\text{Нобщ}} = \frac{50 \cdot 21600 + 20 \cdot 6500}{28100} = 43,06 \text{ мг / дм}^3$$

Концентрация загрязнений общего стока по фосфору общему:

$$C_{\text{см}}^{\text{Робщ}} = \frac{8,33 \cdot 21600 + 4,5 \cdot 6500}{28100} = 7,44 \text{ мг / дм}^3$$

Эквивалентное число жителей:



$$N_{\text{ЭКВ}}^{\text{ВЗВ.В}} = \frac{350 \cdot 6500}{65} = 35000 \text{ чел} \quad N_{\text{ЭКВ}}^{\text{БПК}_5} = \frac{190 \cdot 6500}{60} = 20584 \text{ чел}$$

Приведенное число жителей:

$$N_{\text{прив}}^{\text{ВЗВ.В}} = 90000 + 35000 = 125000 \text{ чел} \quad N_{\text{прив}}^{\text{БПК}_5} = 90000 + 20584 = 110584 \text{ чел}$$

### 9.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ в очищенных сточных водах

#### 9.3.1. Определение коэффициента смешения и кратности разбавления

Коэффициент смешения определяется по формуле (4.1):

$$K_{\text{см}} = \frac{1 - e^{-0,282 \cdot \sqrt[3]{500}}}{1 + \frac{5,3}{0,32523} \cdot e^{-0,282 \cdot \sqrt[3]{500}}} = 0,3262$$

Коэффициент извилистости реки по формуле (4.3):

$$K_{\text{изв}} = \frac{L_{\text{ф}}}{L_{\text{пр}}} = \frac{0,5}{0,5} = 1$$

Коэффициент турбулентной диффузии по формуле (4.4):

$$D = \frac{0,54 \cdot 2,7}{200} = 0,00729$$

Коэффициент, учитывающий гидравлические условия в водотоке, по формуле (4.2):

$$K_{\text{г}} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00729}{0,32523}} = 0,282$$

Кратность разбавления перед расчетным пунктом водопользования по формуле (4.5):

$$n = \frac{0,3262 \cdot 5,3 + 0,32523}{0,32523} = 6,3$$

#### 9.3.2. Установление допустимых концентраций по показателям БПК<sub>5</sub>, ХПК, взвешенным веществам, аммоний иону, азоту общему, фосфору общему

Эквивалент населения определяется по формуле (4.6):

$$\text{ЭН} = \frac{28100 \cdot 236,12}{60} = 110583 \text{ чел}$$

Масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения, определяется по формуле (4.7):

$$M_{\text{БПК}_5} = \frac{28100 \cdot 236,12}{1000} = 6634,97 \text{ кг / сут}$$

Допустимую концентрацию загрязняющих веществ в очищенных сточных водах устанавливаем по таблице 4.1. Степень необходимой очистки по загрязняющим веществам определяется по формуле (4.8).

Степень необходимой очистки по взвешенным веществам:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ВЗВ}} = 20 \text{ мг / дм}^3; \quad \text{Э}_{\text{ВЗВ.В.}} = \frac{289,14 - 20}{289,14} \cdot 100 = 93,08 \%$$

Степень необходимой очистки по БПК<sub>5</sub>:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{БПК}_5} = 15 \text{ мг / дм}^3; \quad \mathcal{E}_{\text{БПК}_5} = \frac{236,9 - 15}{236,12} \cdot 100 = 93,65 \%$$

Степень необходимой очистки по ХПК:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{ХПК}} = 70 \text{ мг / дм}^3; \quad \mathcal{E}_{\text{ХПК}} = \frac{449,11 - 70}{449,11} \cdot 100 = 84,41 \%$$

Степень необходимой очистки по азоту аммонийному:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{амм}}} = 10 \text{ мг / дм}^3 \quad \mathcal{E}_{\text{N}_{\text{амм}}} = \frac{35,5 - 10}{35,5} \cdot 100 = 71,83 \%$$

Степень необходимой очистки по азоту общему:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{N}_{\text{общ}}} = 20 \text{ мг / дм}^3; \quad \mathcal{E}_{\text{N}_{\text{общ}}} = \frac{43,06 - 20}{43,06} \cdot 100 = 53,55 \%$$

Степень необходимой очистки по фосфору общему:

$$C_{\text{ДК}}^{\text{P}_{\text{общ}}} = 2 \text{ мг / дм}^3. \quad \mathcal{E}_{\text{P}_{\text{общ}}} = \frac{7,44 - 2}{7,44} \cdot 100 = 73,12 \%$$

### 9.3.3. Установление допустимых концентраций загрязняющих веществ с учетом ассимилирующей способности водного объекта

Допустимая концентрация *нефтепродуктов* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9):

$$C_{\text{ДК}}^{\text{нефт.}} = [(6,3 - 1) \cdot (0,05 - 0,03)] + 0,05 = 0,16 \text{ мг / дм}^3$$

где  $n = 6,3$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.9.3.1.

$C_{\text{пдк}} = 0,05$  мг/дм - норматив предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{ф}} = 0,03$  мг/дм - фоновая концентрация нефтепродуктов в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно заданию на проектирование.

Степень необходимой очистки по *нефтепродуктам* определяется по формуле (4.8):

$$\mathcal{E}_{\text{нефт.}} = \frac{0,45 - 0,16}{0,45} \cdot 100 = 64,4 \%$$

Достижимая эффективность удаления нефтепродуктов на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 70% [8].

Допустимая концентрация *СПАВ (анион)* в сточных водах без учета неконсервативности вещества рассчитывается по формуле (4.9):

$$C_{\text{ДК}}^{\text{СПАВ(анион)}} = [(6,3 - 1) \cdot (0,1 - 0,06)] + 0,1 = 0,31 \text{ мг / дм}^3$$

где  $n = 6,3$  – кратность разбавления отводимых сточных вод в водотоке, служащем приемником сточных вод, определяемая в п.9.3.1 данного пособия.

$C_{\text{пдк}} = 0,1$  мг/дм - норматив предельно допустимой концентрации СПАВ (анион) в воде водотока, принят по [5];

$C_{\text{ф}} = 0,06$  мг/дм - фоновая концентрация СПАВ (анион) в воде водотока выше выпуска сточных вод, принята согласно задания на проектирование.

Степень необходимой очистки по *СПАВ (анион)* определяется по формуле (4.8):

$$\mathcal{E}_{\text{СПАВ(анион)}} = \frac{0,4 - 0,31}{0,4} \cdot 100 = 22,5 \%$$

Достигаемая эффективность удаления СПАВ (анион) на сооружениях биологической очистки сточных вод составляет 65 % [8].

### 9.3.4 Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток

Максимальная допустимая температура отводимых сточных вод в водоток рассчитывается по формуле (4.10)

$$T_{\text{ов}} = 6,3 \cdot 1,5 + 15 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

где  $T_{\text{ф}} = 15^{\circ}\text{C}$  - максимальная температура воды водотока выше выпуска сточных вод в летнее время, принимается согласно заданию на проектирование;

$T_{\text{доп}} = 1,5^{\circ}\text{C}$  - допустимое превышение температуры воды водотока, принимается по [5]).

## 9.4 Выбор метода очистки сточных вод и состава сооружений. Составление технологической схемы очистки сточных вод

Для выбора метода очистки сточных вод в таблице 9.2. приведена качественная характеристика сточных вод до и после очистки, а также необходимая степень очистки сточных вод.

Таблица 9.2 - Качественная характеристика сточных вод

Наименование показателя	Значение показателя		Степень очистки, %
	до очистки	после очистки	
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	289,12	20	93,08
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	236,12	15	93,65
ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	449,11	70	84,41
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	35,5	10	71,83
Азот общий, мг/дм <sup>3</sup>	43,06	20	53,35
Фосфор общий, мг/дм <sup>3</sup>	7,44	2	73,12
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,45	0,16	64,4
СПАВ (анион), мг/дм <sup>3</sup>	0,4	0,31	22,5

На основании анализа характеристики состава стоков (таблица 9.2), а также с учетом рекомендаций таблицы 5.1 назначаем биологическую очистку с предварительной денитрификацией с рециркуляцией 200% и биологическим удалением фосфора.

В курсовом проекте выбран следующий комплекс сооружений:

- приемная камера;
- 1. сооружения механической очистки сточных вод:
  - решетки;
  - песколовки горизонтальные с прямолинейным движением воды;
  - первичные горизонтальные отстойники;
- 2. сооружения биологической очистки сточных вод:
  - аэротенк с выделенными зонами дефосфотации, денитрификации, нитрификации;
  - вторичные горизонтальные отстойники;

3. сооружения для дезинфекции сточных вод:
  - смеситель типа лоток Паршалля;
  - хлораторная;
  - контактный резервуар;
4. сооружения по обработке осадка сточных вод:
  - песковые бункера;
  - цех механического обезвоживания осадка (центрифуги)
  - термическая сушка.

Приходящие сточные воды попадают в приемную камеру, а затем первоначально очищаются, проходя решетки, где оседают крупные плавающие отбросы. Сточные воды, освобожденные от крупноразмерных загрязнений поступают на очистку от песка в песколовку горизонтальную с прямолинейным движением воды. Осадок из песколовки удаляется на песковые бункера. Сточные воды, очищенные от минеральных тяжелых примесей, поступают в первичные отстойники, которые предназначены для задержания более мелких взвесей путем отстаивания грубодисперсных нерастворенных примесей под действием гравитационной силы.

Далее стоки поступают на биологическую очистку в аэротенки. Для разработки технологической схемы по глубокой очистке сточных вод от азота и фосфора предлагается каскадная технология очистки сточных вод, которая представлена в следующей последовательности: выделение анаэробной зоны для удаления фосфора, создание зоны денитрификации и нитрификации.

Принципиальная схема очистной станции представлена на рисунке 9.1.

В соответствии с предложенной схемой сточная жидкость и 100% циркулирующего активного ила подаются в анаэробное отделение.

Иловая смесь из аэротенка поступает во вторичный отстойник для отделения ила от сточных вод.

Очищенные сточные воды после вторичных отстойников направляются в смеситель, где происходит смешение сточной воды с хлорной водой, приготовленной в хлораторной. Для контакта сточной воды с хлором предусматривается установка контактных резервуаров. После контактных резервуаров очищенные сточные воды сбрасываются в реку.

Избыточный ил из вторичных отстойников, сырой осадок из первичных отстойников поступают в цех механического обезвоживания осадка, в котором установлены центрифуги. Обезвоженный осадок направляется на термическую сушку. В качестве резервного метода обезвоживания принято устройство аварийных иловых площадок.

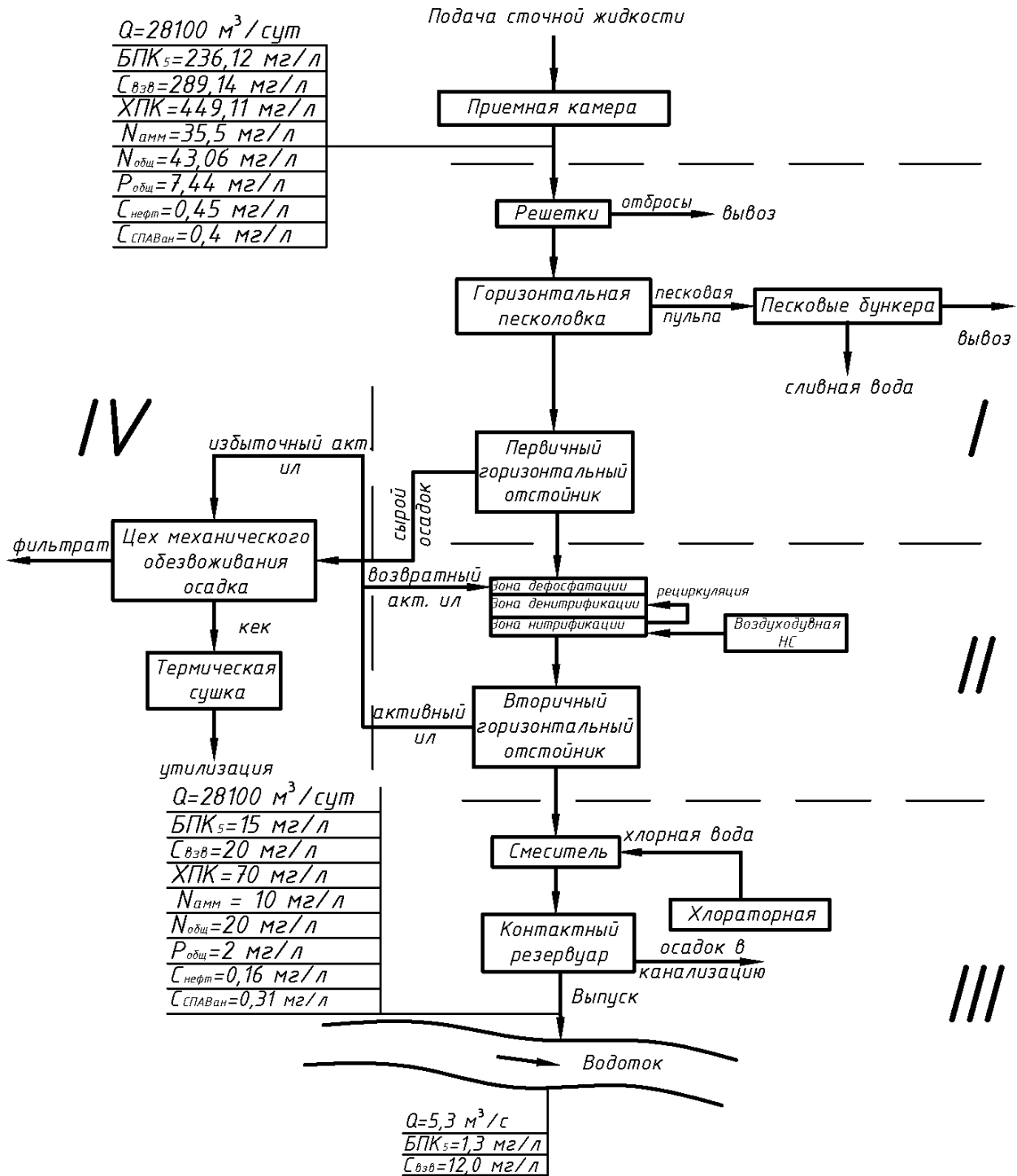


Рис. 9.1 – Принципиальная схема очистной станции

- I – сооружения механической очистки
- II – сооружения биологической очистки
- III – сооружения для дезинфекции
- IV – сооружения по обработке осадка сточных вод

## 10. РАЗРАБОТКА ГЕНПЛАНА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ

Генеральный план разрабатывается после того, как определены - количество и размеры всех очистных сооружений, а также зданий, входящих в комплекс очистной станции.

Основой генплана является принятая технологическая схема.

При разработке генплана следует руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Месторасположение отдельных сооружений и общая планировка очистной станции должны обеспечить наилучшую организацию технологического процесса очистки сточных вод; все сооружения должны быть доступны для ремонта и обслуживания.

2. Компонировка всех сооружений должна обеспечить возможность строительства очистной станции по очередям и последующего расширения ее в связи с увеличением притока сточных вод.

3. Протяженность коммуникаций должна быть по возможности минимальной.

4. Все сооружения должны быть расположены более компактно. Целесообразно блокировать отдельные сооружения в группы. Рекомендуемый коэффициент застройки - 0,7.

5. Разрывы между отдельными сооружениями должны быть минимальными и в то же время обеспечивать возможность очередности их строительства.

Предварительно они могут намечаться следующими:

для группы одноименных сооружений - 2-3 м,

для группы разноименных сооружений - 5-10 м,

для группы сооружений механической и биологической очистки - 15-20 м,

для сооружений и иловых площадок с учетом обсадки их деревьями - 25-30 м,

для метантенков, газгольдеров и других сооружений (в зависимости от их ёмкости) - 20-50 м,

для расходного склада хлора: расстояние от административных и бытовых зданий - 100 м, от производственных зданий, в которых постоянно находится обслуживающий персонал - 50 м, от производственных зданий, в которых обслуживающий персонал бывает периодически - 30 м.

6. К каждому сооружению должен быть обеспечен подъезд транспорта для доставки материалов при ремонте.

7. На генплане станции следует указать насыпи и выемки. Для уменьшения земляных работ экономически выгодно при устройстве насыпей и выемок соблюдать равенство их объёмов.

8. Сооружения следует располагать симметрично, обеспечивая равномерное распределение сточной жидкости между отдельными сооружениями.

9. Кроме основных сооружений на генплане следует нанести все вспомогательные сооружения: котельную, ремонтные мастерские, гараж, склады, административное здание с лабораторией, насосные и воздухоподводящие станции, трансформаторную площадку, сети местной канализации и другие.

10. В коммуникациях очистной станции следует предусмотреть возможность выключения из работы для ремонта групп сооружений и отдельных сооружений, а также аварийный выпуск, позволяющий выключить из работы в крайнем случае всю станцию.

11. Территория станции должна быть ограждена, благоустроена, озеленена, освещена и иметь дороги с искусственными покрытиями и пешеходные дорожки к каждому из сооружений и зданий.

Площадь озеленения должна составлять не менее 15-20% площади в пределах границ территории очистных сооружений.

Травяные газоны и посадка деревьев и кустарников должны быть: на площадках у главного въезда и входа на территорию; вдоль проездов и площадок для разворота автомобильного транспорта; на площадках в районе размещения административно-бытовых зданий и помещений, лабораторий, мест отдыха и спортивных площадок; вокруг открытых сооружений; на полосах, отделяющих тротуары и пешеходные дорожки от дорог, а также от сооружений с вредными выделениями.

На участках без твердого покрытия, а также вдоль ограды территории очистных сооружений следует, как правило, предусматривать посев трав.

Для полива дорог и зелёных насаждений в летний период следует предусматривать поливочные краны.

Вертикальная планировка территории очистных сооружений должна обеспечить отвод поверхностных вод.

Планировочные отметки территории следует назначать в соответствии с технологическими требованиями к вертикальной посадке сооружений исходя из условий максимального сохранения естественного рельефа и почвенного покрова, минимальных объемов земляных работ, отвода поверхностных вод со скоростями, исключающими возможность эрозии почвы.

К местам расположения технологического оборудования у очистных сооружений и на сетях следует предусматривать удобные подходы, площадки, лестницы и при необходимости ограждения.

Главный вход, проходную и въезд на территорию очистных сооружений необходимо располагать со стороны основного подхода и подъезда трудящихся. Здесь же за оградой территории очистных сооружений следует предусматривать площадку для стоянки автотранспорта.

На генплане обязательно наносятся горизонтали и роза ветров.

Генплан должен быть увязан с ситуационным планом. Примеры оформления ситуационных планов приводятся в приложениях [1].

Варианты генпланов к численному примеру №1 городской очистной станции производительностью 129300 м<sup>3</sup>/сут и к численному примеру №2 станции производительностью 26600 м<sup>3</sup>/сут приведены в приложениях [1].

## 11. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ПО ХОДУ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ

Профиль составляется по наиболее неблагоприятному (длинному) направлению движения воды. При этом высотная схема расположения очистных сооружений должна быть составлена так, чтобы обеспечивалось, как правило, самотечное движение воды от одного сооружения к другому. Движение осадков также по возможности должно быть самотечным, но зачастую осадок приходится перекачивать.

Для самотечного движения сточной воды по всем сооружениям очистной станции необходимо, чтобы отметка поверхности воды в подводящем канале превышала отметку воды в водоёме при высоком горизонте на величину, достаточную для компенсации всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям с учётом запаса 1,0÷1,5м, который необходим для обеспечения свободного истечения воды из оголовка выпуска в водоём. Нормальная работа очистной станции зависит от правильного определения гидравлических потерь.

Кроме того, нужно предусмотреть некоторый запас напора с расчётом на будущее расширение очистной станции.

При составлении профилей надо предусматривать, чтобы каждое сооружение было установлено на плотном, нетронутым грунте. Если необходимо поместить сооружение целиком в насыпи, то оно должно иметь фундаменты, опирающиеся на материковый грунт.

Построению профиля предшествует гидравлический расчет коммуникаций. Расчет сводится в таблицу формы 10.1.

Таблица 10.1. - Расчет коммуникаций по движению воды

№ участков и названия сооружений	Длина участка, м	Форма сечения	Размер сечения или диаметр, мм	Расчётный расход, л/с	Скорость, м/с	Уклон или $1000i$	Потери напора по длине, $h_l$ , м	Вычисления местных сопротивлений	Величина местных сопротивлений, $h_{мест}$ , м	Суммарные потери напора, м	Наименование местных сопротивлений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Потери напора в коммуникациях определяют по формуле:

$$h = h_l + h_{мест} \quad (10.1)$$

где  $h_l$  - потери напора по длине, м;

$h_{мест}$  - потери на местные сопротивления, м.

$$h_l = i \cdot l \quad (10.2)$$

$$h_{мест} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (10.3)$$

где  $i$  - уклон каналов, лотков, трубопроводов;

$l$  - длина участка, м;

$\xi$  - коэффициент местных сопротивлений;

$v$  - скорость движения сточных вод на расчетном участке, м/с;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Так как при выполнении курсового проекта подробный технологический и гидравлический расчет производят только одного сооружения, то для построения профиля ориентировочные потери напора в остальных сооружениях можно принять следующие:

приемная камера	0,1 м
механические решетки, песколовки	0,1-0,2 м
решетки дробилки к аэрируемые песколовки	0,15-0,25 м
преаэраторы	0,2-0,25 м
отстойники: горизонтальные	0,2-0,4 м
вертикальные	0,4-0,5 м
радиальные	0,5-0,6 м
двухъярусные	0,25 м
аэротенки	0,4-0,6 м
аэрофильтры высоконагружаемые	6-8 м
биофильтры с вращающимися оросителями	H+0,15 м
со спринклерами	H+0,5 м
аэротенки, отстойники	0,5-0,8 м
контактные резервуары и смесители	0,15-0,3 м
барабанные сетки	0,3 м
песчаные фильтры	H+(0,2-0,3) м



сборный колодец	0,5 м
распределительная чаша (на 4 отстойника)	0,67 м
распределительная чаша (на 2 отстойника)	0,56 м
коммуникации метантенков	2 м

Для упрощения расчётов в данном курсовом проекте при вычислении потерь напора в коммуникациях можно использовать следующие коэффициенты местных сопротивлений и потерь напора:

Слияние 2 потоков	$\xi = 0,56$
Разветвление потока на две (три) части	$\xi = 1,5$
Резкий поворот на $45^\circ$	$h_m = 0,0394$ м
Плавный поворот на $45^\circ$	$h_m = 0,0154$ м
Плавное расширение	$h_m = 0,0002$ м
Внезапное расширение	$h_m = 0,0008$ м
Потери на незатопленном водосливе	$h_m = 0,252$ м
Плавное сужение	$\xi = 0,307$
Резкий поворот на $90^\circ$	$\xi = 1,2$
Вход в трубу	$\xi = 0,016$
Вход в прямоугольный канал	$\xi = 0,4$
Распределительный лоток	$h_m = 0,075$ м
Плавный поворот на $90^\circ$	$\xi = 0,84$
Вход в трубу из перепадного колодца	$\xi = 0,5$

Сточные воды на очистных сооружениях движутся по открытым лоткам и каналам. Каналы и лотки рассчитываются с коэффициентом 1,4 на максимальный секундный пропуск воды. Вода к некоторым сооружениям (например, к радиальным отстойникам) подводится дюкерными трубопроводами.

Осаждающиеся компоненты сточных вод - песок, осадок первичных отстойников, активный ил, шламы производственных сточных вод - удаляются из сооружений самотеком, под гидростатическим давлением или насосами, гидроэлеваторами, эрлифтами. Удаление осадка непосредственно из иловых приемков сооружений предпочтительнее плунжерными насосами, обеспечивающими отбор осадка с меньшей влажностью, чем при применении центробежных насосов.

Скорости движения городских или близких к ним по составу производственных сточных вод в каналах и трубах должны приниматься в соответствии с [8].

Наименьшие скорости движения сырых и сброженных осадков, а также уплотненного активного ила в напорных трубопроводах принимаются в пределах 0,8-2,1 м/с при влажности осадков соответственно 98-90% [8].

Поток сточных вод на очистной станции делится на части пропорционально пропускной способности соответствующих групп сооружений или отдельных сооружений внутри группы. Необходимо учитывать, что распределение концентрации взвеси (твёрдой фазы), влекомой сточной водой, не всегда пропорционально распределению самой воды (сказывается инерция движения взвеси в жидкости). Так, при Ш-образном разветвлении лотков средний из них будет перегружен по содержанию взвешенных веществ даже при вполне рав-

номерном гидравлическом разделении потока жидкости. Предпочтительнее такие устройства для деления потока жидкостей, загрязненных взвешенными веществами, которые способствовали бы и равномерному распределению взвеси.

Деление потока может осуществляться разветвлением лотка (канала), распределительными чашами и камерами, распределительными каналами с малыми скоростями протока воды.

Деление потока на две части достаточно надежно может быть достигнуто при устройстве Т- или U-образной развилки. Рекомендуется предусматривать поворотный делитель, который устанавливается в положении, определяемом при наладке сооружений. Последовательное деление потока таким способом на большее число ответвлений требует сравнительно большой площади.

Более точным и удобным является деление потока в распределительных чашах на 4, 6, 8 частей водосливами (с широким порогом или с тонкой стенкой), установленными на одинаковых отметках. Наибольшая точность достигается при подводе воды к чашам дюкером снизу – отклонение от равномерного распределения  $\pm 3-6\%$  при изменении нагрузки на сооружение в пределах от 0,75 до 1,25 расчетного расхода.

Гидравлический расчёт коммуникаций “по воде” очистных станций производительностью 129300 м<sup>3</sup>/сут и 26600 м<sup>3</sup>/сут приведен в литературе [1].

Для построения профилей используют суммарные потери напора на участках (графа 11 таблиц гидравлического расчёта). Отметки на каждом последующем участке должны отличаться от отметок на предыдущем участке как минимум на величину потерь.

Профиль “по воде” строят начиная от приемной камеры и до оголовка выпуска в водоем.

Профили “по осадку” и “илу” начинают от сооружения выпуска осадка или ила (из первичных или вторичных отстойников) и кончают наиболее удаленной точкой подачи на сооружения их обработки.

Профили по ходу движения воды к численному примеру №1 (станция производительностью 129300 м<sup>3</sup>/сут) и к численному примеру №2 (станция производительностью 26600 м<sup>3</sup>/сут) приведены в приложениях [1].

По профилю определяются высоты насыпей и глубины выемок, после чего границы насыпей и выемок наносятся на генплан. Примеры построения насыпей и выемок на генплане очистной станции приведены на рисунках 10.1 и 10.2.

По верху насыпей следует предусмотреть проходы вокруг сооружений.

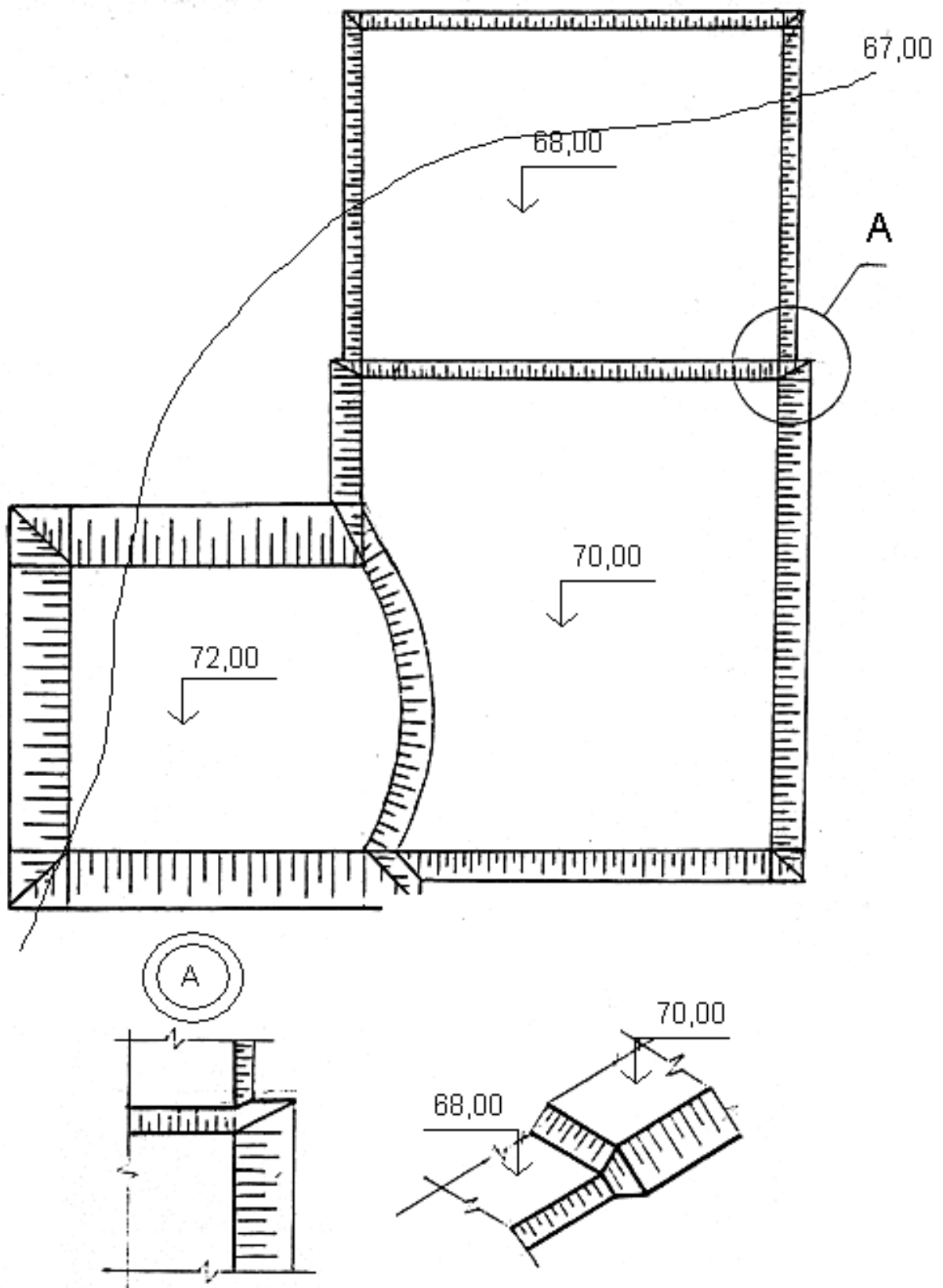


Рисунок 10.1. - Оформление насыпей на генплане.

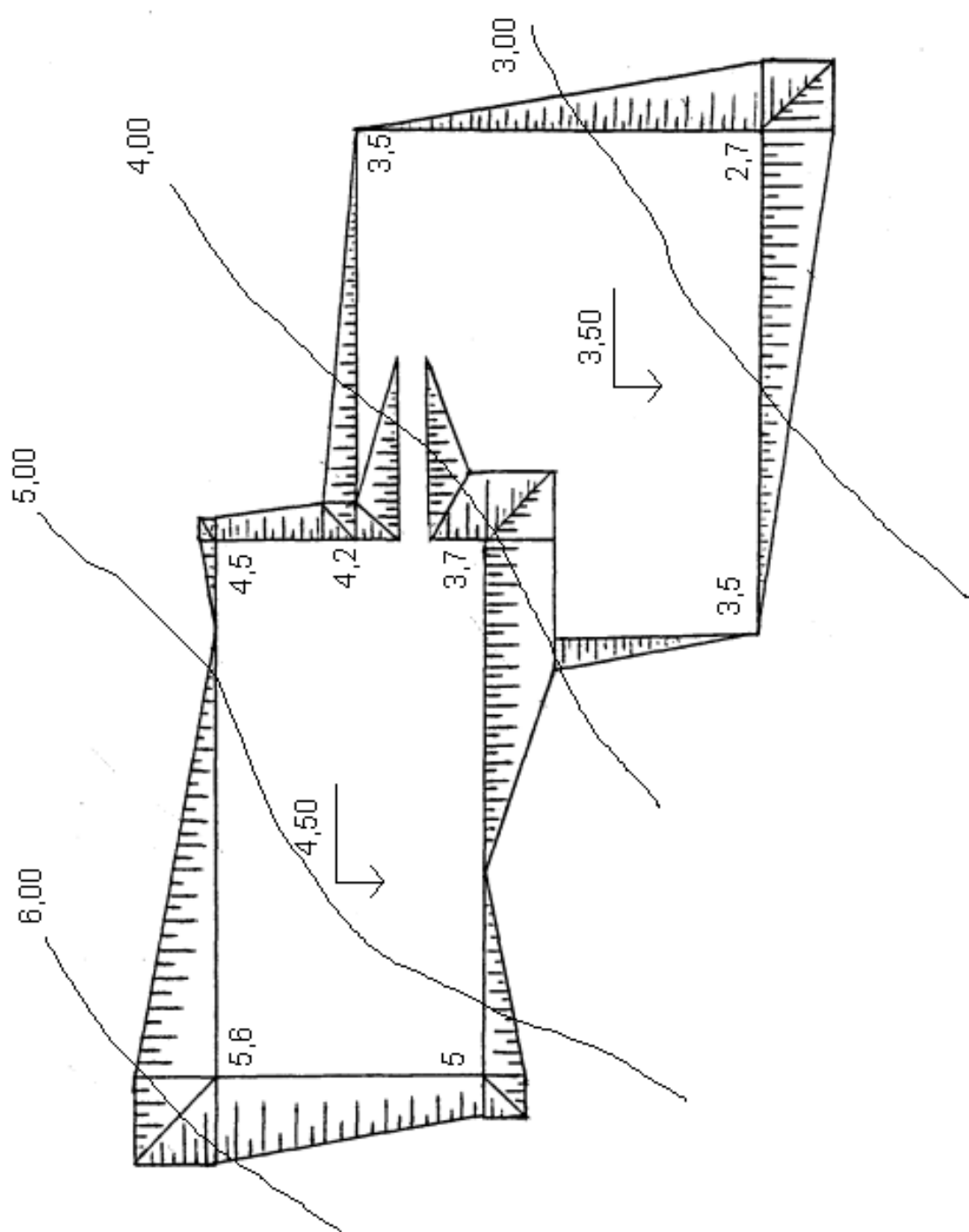


Рисунок 10.2. - Планировочное оформление территории очистной станции.

## 12. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОДНОГО ИЗ СООРУЖЕНИЙ

Конструирование сооружения осуществляется на стадии технического проекта на основе данных технологического расчета этого сооружения. Конструкция его разрабатывается с учетом новейших достижений науки и техники. При конструировании можно использовать отдельные узлы и конструктивные детали из типовых проектов.

Принятую конструкцию сооружения следует привязать к генплану и профилю.

**Приложение 1. Примерный процент разброса притока бытовых сточных вод на очистную станцию по часам суток**

Часы суток	q <sub>ср.с.</sub> , л						
	50	100	200	300	500	800	1250 и более
	K <sub>общ</sub>						
	1,8	1,6	1,4	1,35	1,25	1,2	1,15
0-1	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
1-2	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
2-3	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
3-4	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
4-5	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
5-6	3,3	4,35	4,2	4,8	5,05	4,9	4,8
6-7	5	5,95	5,8	5	5,15	4,9	4,8
7-8	7,2	5,8	5,8	5	5,15	5	4,8
8-9	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
9-10	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
10-11	7,5	6,7	5,85	5,65	5,2	5	4,8
11-12	6,4	4,8	5,05	5,25	5,1	5	4,8
12-13	3,7	3,95	4,2	5	5	4,8	4,7
13-14	3,7	5,55	5,8	5,25	5,1	5	4,8
14-15	4	6,05	5,8	5,65	5,2	5	4,8
15-16	5,7	6,05	5,8	5,65	5,2	5	4,8
16-17	6,3	5,6	5,8	5,65	5,2	5	4,8
17-18	6,3	5,6	5,75	4,85	5,15	5	4,7
18-19	6,3	4,3	5,2	4,85	5,1	5	4,8
19-20	5,25	4,35	4,75	4,85	5,1	5	4,8
20-21	3,4	4,35	4,1	4,85	5,1	5	4,8
21-22	2,2	2,35	2,85	3,45	3,8	4,5	4,8
22-23	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,4	3
23-24	1,25	1,55	1,65	1,85	2	2,25	2,6
Итого	100	100	100	100	100	100	100

**Приложение 2. Примерный процент разброса притока промышленных сточных вод на очистную станцию по часам смен**

Часы смен	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2
1	11,3	11	10,7	10,5	10,3	9	8,7	8,5	8
2	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
3	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
4	13,7	15	16,3	17,5	18,7	20	21,3	22,5	25
5	11,3	11	10,7	10,5	10,3	9	8,7	8,5	8
6	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
7	13	12	11,5	11	10,5	10,5	10	9,5	8,5
8	11,7	15	16,3	17,5	18,7	20	21,3	22,5	25
итого	100	100	100	100	100	100	100	100	100

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, С. Г. Городская очистная станция : пособие / С. Г. Белов, Т. И. Акулич, С. В. Андреек. – Брест : БрГТУ, 2018. – 114 с.
2. Лапицкая, М. П. Очистка сточных вод (примеры расчётов). Мн.: Вышэйшая школа, 1983. -255 с.
3. Ласков, Ю .М. Примеры расчетов канализационных очистных сооружений : учебное пособие для ВУЗов / Ю.М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. – М.: Стройиздат, 1987. – 256 с.
4. Лукиных, А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н.Н. Павловского: Справочное пособие / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. – 5–е изд. М.: Стройиздат, 1987. – 152 с.
5. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 30 марта 2015, № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.04.2015, 8/29808.
6. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 21 мая 2017, № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 21.06.2017, 8/32141. Изменения и дополнения: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 5 сентября 2019 г. № 28 (зарегистрировано в Национальном правовом Интернет-портале Республики Беларусь, 21.09.2019, № 8/34619); Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 14 июня 2021 г. № 12 (зарегистрировано в Национальном правовом Интернет-портале Республики Беларусь, 29.06.2021, № 8/36855).
7. Санитарные правила и нормы 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнений», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача РБ от 28 ноября 2005 г. №198.
8. СН 4.01.02-2019 Строительные нормы Республики Беларусь «Канализация. Наружные сети и сооружения». Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2019.
9. Сторожук, Н. Ю. Водоотводящая сеть города : пособие / Н. Ю. Сторожук, С. В. Андреек. – Брест : БрГТУ, 2018.– 79 с.
10. Шевелев, Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справочное пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев. – М.: Изд. дом «БАСТЕТ», 2014. – 382 с.
11. Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.06.02-002-2021 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод», утвержденные постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 21.09.2021 № 8-Т.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра водоснабжения, водоотведения и  
охраны водных ресурсов**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине

**«Технология очистки сточных вод»**

для студентов специальности

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и  
охрана водных ресурсов»



Брест 2020



УДК 628.3(075)

Методические указания предназначены для студентов ВУЗов очной и заочной формы обучения специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающих курс «Технология очистки сточных вод».

Методические указания написаны в соответствии с учебной программой курса «Технология очистки сточных вод» и включает лабораторные работы по очистке сточных вод различными методами и обработке осадка. Методические указания содержат теоретические основы, описание лабораторных установок, порядок выполнения работ, методики анализа и последовательность обработки полученных результатов. К каждой теме даны контрольные вопросы для самостоятельной проверки усвоения теоретического материала.

Составители: Белов С.Г., доцент, к.т.н.,  
Акулич Т.И., старший преподаватель,  
Таратенкова М.А., старший преподаватель

Рецензент: заместитель директора по капитальному строительству и ремонту КПУП «Брестводоканал» В.А. Бурко

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Изучение требований к подготовке и проведению лабораторных работ. Правила техники безопасности.....	5
2. Состав и свойства сточных вод.....	8
Лабораторная работа 1. Определение основных показателей сточных вод .....	11
3. Механическая очистка сточных вод.....	18
Лабораторная работа 2. Анализ осадка задерживаемого в песколовках.....	19
Лабораторная работа 3. Определение кинетики осаждения взвешенных веществ.....	22
Лабораторная работа 4. Оценка технологической эффективности работы первичных отстойников.....	25
4. Биологическая очистка сточных вод.....	28
Лабораторная работа 5. Определение основных технологических характеристик аэротенка.....	28
Лабораторная работа 6. Гидробиологический анализ активного ила.....	33
Лабораторная работа 7. Реагентная дефосфотация сточных вод.....	38
5. Обработка осадков сточных вод.....	41
Лабораторная работа 8. Определение основных свойств осадка.....	41
Лабораторная работа 9. Определение эффективности обезвоживания осадков на модели центрифуги.....	45
Лабораторная работа 10. Кондиционирование осадков сточных вод реагентным методом.....	48
Приложение 1 Индикаторные простейшие активного ила.....	51
Приложение 2 Метод определения фосфатов.....	58
Список используемых источников.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

При подготовке студентов по специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» курс «Технология очистки сточных вод» имеет очень важное значение. Эффективность освоения этой учебной дисциплины во многом зависит от содержания и постановки лабораторных работ.

Лабораторные занятия помогают студентам практически изучить сущность технологических процессов, определить важнейшие характеристики и установить факторы, влияющие на производительность и эффективность работы сооружений и оборудования очистки воды.

При проведении лабораторных работ студенты закрепляют и углубляют теоретический материал и осваивают методики выполнения основных анализов по составу сточных вод, приобретают практический опыт ведения лабораторно-производственного контроля работы очистных сооружений, приобретают знания по оценке эксплуатационных и технологических данных, полученных на основе работы модели сооружений. Кроме этого, студенты приобретают необходимые навыки самостоятельного проведения научных исследований.

Настоящие методические указания включают все лабораторные работы, предусмотренные учебной программой по курсу «Технология очистки сточных вод» и рекомендуется к использованию студентами очной и заочной формы обучения специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», а также для выполнения научно-исследовательских студенческих и магистерских работ.

## **1. ИЗУЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ.**

При проведении лабораторных работ студенты приобретают навыки управления технологическими процессами очистки сточных вод и обработки осадков, технологического контроля и оценки результатов, полученных непосредственно из опыта. При этом предполагается, что знания, полученные в лаборатории, студенты в дальнейшем углубят в период прохождения производственной практики на действующих очистных сооружениях канализации. Особое внимание студентов должно быть обращено на изучение физических, физико-химических и биологических основ процессов, протекающих в сооружениях и аппаратах.

Перед началом каждой лабораторной работы студенты должны четко представлять ее цель, усвоить теоретические основы протекающих в установке процессов и определить порядок проведения опытов. Все записи в процессе проведения работ, расчеты, таблицы опытных данных, графики должны заноситься в специальную тетрадь.

Отчет о выполнении лабораторных работ студент должен по возможности составить в лаборатории, при этом обеспечивается необходимый контроль за самостоятельностью и организованностью его работы. Следует обратить внимание на содержание выводов, сделанных по результатам экспериментов, которые, наряду с констатацией конкретных результатов, должны содержать их технологический или технический анализ и оценку.

Во время, необходимое для выполнения лабораторной работы, входят время на ознакомление с рабочей инструкцией, оборудовании установки для проведения опытов, время обработки их результатов и составления отчета. С учетом специфики проведения лабораторной работы численность групп студентов и время, необходимое для проведения этой работы, могут меняться.

Поскольку проведение лабораторных работ связано с использованием реальной сточной жидкости и осадков сточных вод и, кроме того, с необходимостью включения различных приборов и оборудования, студентам необходимо строго соблюдать правила безопасного проведения работ и санитарно-гигиенические требования.

### *Требования безопасности в лаборатории испытаний сточной воды*

Студенты до начала работ должны пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

Студенты на своих рабочих местах должны выполнять требования трудовой дисциплины, выполнять работу в соответствии с заданием и в объеме, определенном преподавателем.

Необходимо поддерживать на рабочем месте чистоту и порядок, не допускать нахождения на рабочем столе лишних, ненужных в данный момент приборов и лабораторной посуды.

Все работы должны производиться с использованием средств индивидуальной защиты.

Пользоваться химикатами из сосудов, имеющих четкую надпись на этикетках.

При переливании жидкостей необходимо пользоваться воронкой.

Насасывание в пипетки растворов химических реактивов производят с помощью резиновой груши или автоматических пипеток. Насасывание ртом ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

Необходимо избегать соприкосновения со сточными и загрязненными водами.

Нюхать вещества нужно не наклоняясь над сосудом, не вдыхая полной грудью, а только направляя к себе пары или газ движением руки.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ использовать лабораторную посуду для питья и приема пищи.

Работа с концентрированными кислотами и испаряющимися щелочами (аммиачный раствор и др.) выполняются только под тягой (в вытяжном шкафу).

Для приготовления растворов кислот необходимо кислоту медленно лить в воду тонкой струей при непрерывном перемешивании. **Лить воду в кислоту запрещается.**

Растворять щелочи следует путем медленного прибавления к воде небольших кусочков веществ при непрерывном размешивании, кусочки щелочи брать только щипцами.

Разлитые кислоты и щелочи необходимо немедленно засыпать песком, промыть после этого водой. Песок собирается пластмассовым совком в сосуд для отходов.

При ожогах кислотой пораженное место обмывают обильным количеством воды, затем раствором гидрокарбоната натрия и смазывают мазью от ожогов.

При попадании кислоты в глаза необходимо обильное промывание.

При попадании щелочи на кожу немедленно промыть пораженное место большим количеством воды, затем 1% раствором уксусной кислоты и смазать мазью от ожогов.

При попадании щелочи в глаза сначала промывают глаза большим количеством воды, затем 2% раствором борной кислоты и опять водой.

Посуда для хранения кислот и щелочей должна иметь четкие надписи.

Требования безопасности при эксплуатации электрооборудования

**Без разрешения преподавателя студентам категорически запрещается включать приборы и запускать экспериментальные установки.** Обо всех замеченных неполадках и неисправностях студенты обязаны немедленно сообщать преподавателю или лаборанту.

При пользовании электроприборами необходимо следить за исправностью электрической проводки, штепсельных вилок и розеток.

Пуск электроприборов оборудования в работу производить, убедившись в отсутствии опасности для окружающих.

Запрещается работать с незаземленным электрооборудованием.

Запрещается помещать в камеру муфельной печи, сушильного шкафа и термостата материалы, воспламеняющиеся при температуре термостатирования или близкой к ней.

Не следует прикасаться к дверке муфельной печи и сушильного шкафа во время его работы.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ** оставлять электроприборы включёнными без присмотра.

При работе на электроплитке пользоваться только термостойкой стеклянной или фарфоровой посудой, при этом наружная поверхность посуды должна быть сухой.

Передвигать посуду с жидкостью по поверхности электроплитки осторожно без рывков.

При обнаружении неисправности в работе электрооборудования, отключить его, сообщить преподавателю или лаборанту. Включать в работу оборудование только после устранения неполадок.

## 2. СОСТАВ И СВОЙСТВА СТОЧНЫХ ВОД

Сточной водой называется вода, использованная на бытовые или производственные нужды, получившая при этом загрязнения, которые изменили ее первоначальный ее химический состав или физические свойства, что сделало ее непригодной в качестве водоснабжения.

Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные системы, загрязненные веществами, которые могут находиться во всех состояниях - растворенном, коллоидном, и нерастворенном. Коллоидные вещества и нерастворенные вещества образуют грубо- и тонкодисперсные суспензии, эмульсии, пену. В сточных водах всегда присутствуют как органические. Так и неорганические компоненты загрязнений. Органические вещества в бытовых стоках находятся в виде белков, углеводов, жиров, продуктов физической переработки. Кроме того, бытовые стоки содержат крупные примеси - тряпье, бумагу, отбросы растительного происхождения, также синтетические поверхностно активные вещества (СПАВ). Из неорганических компонентов в этой категории стоков всегда присутствуют в виде ионов калий, натрий, кальций, магний, хлор, карбонаты, сульфаты.

Бытовые стоки, кроме того, обязательно имеют в своем составе биологические загрязнения, которые представлены бактериями, в основном выделениями из кишечника человека, яйцами гельминтов, дрожжевыми и плесневыми грибами, мелкими водорослями, в связи с чем эти стоки представляют существенную эпидемиологическую опасность для окружающей природы.

Для характеристики состава сточных вод требуется большое число разнотипных анализов: химических, физико-химических, санитарно-бактериологических, санитарно-химических.

На действующих очистных сооружениях принято выполнять полных санитарно-химический анализ один раз в декаду для воды, поступающей на очистку, и по стадиям очистки - для воды, прошедшей группы сооружений механической и биологической очистки, глубокой доочистки и дезинфекции. По результатам декадных определений подсчитывают средние данные за месяц и за год. Достоверное суждение о работе сооружений очистной станции можно получить за ряд лет ее эксплуатации. Один раз в квартал (один раз в месяц) полный санитарно-химический анализ проводят для речной воды ниже по течению выпуска стоков очистной станции.

Неполный анализа выполняют в промежутках между полными анализами. Необходимость проведения его возникает в период наладки и пуска вновь построенных сооружений или при поступлении необычных загрязнений.

Санитарно-химический анализ включает в себя определение качественного и количественного состава загрязнений сточных вод:

1. Температура.

2. Окраска.
3. Запах.
4. Прозрачность.
5. Активная реакция (рН).
6. Азот аммонийный.
7. Азот общий.
8. Нитриты.
9. Нитраты.
10. БПК.
11. ХПК.
12. Относительная стойкость.
13. Взвешенные вещества.
14. Оседающие и не оседающие вещества.
15. Плотный остаток (растворенные вещества).
16. Фосфаты.
17. Фосфор общий.
18. Сульфаты.
19. Хлориды.
20. Железо.

Санитарный анализ включает определение специфических ингредиентов промышленных сточных вод.

Для оценки работы и проектирования сооружений биологической очистки основное значение имеют показатели содержания органических примесей и их качество, наличие биогенных элементов и возможных ингибиторов процесса, реакция среды, температуры. Комплексное содержание органических веществ в воде оцениваются ХПК, БПК, перманганатной окисляемостью.

Указанные три показателя являются кислородными эквивалентами содержания органического вещества. А количество кислорода, пошедшего на окисление этих веществ: химическим путем в жестких условиях окисления (ХПК), химическим путем в мягких условиях (перманганатная окисляемость) и биологическим путем (БПК).

Под жесткими условиями окисления подразумевается проведение реакции в течение нескольких часов в сильно кислой кипящей среде с использованием сильных окислителей.

Мягкими условиями окисления предусматривается использование слабого окислителя, при этом действие окислителя продолжается 10-20 минут при слабом нагревании.

При биохимическом окислении роль окислителя выполняют бактерии, которые используют органические вещества сточных вод в качестве источников питания.

Прозрачность, окраску, запах сточных вод определяют для общей оценки поступающего стока.

Сухой и плотный остаток дают возможность оценить общее количество примесей в натуральной и отфильтрованной пробах.



Содержание сульфатов и хлоридов – постоянный показатель, не изменяющийся после механической и биологической обработки воды. Их постоянство может служить своеобразным контролем степени точности выполненных анализов. При анаэробной обработке осадков сульфаты восстанавливаются до сульфидов. Хлориды при концентрации более 200 мг/дм<sup>3</sup> учитывают при анализе воды на ХПК.

При характеристике очищенных сточных вод наряду с такими показателями, как БПК, ХПК, количество взвеси регистрируется концентрация растворенного кислорода. Сточные воды не должны нарушать кислородного режима в водоеме, а поэтому концентрации кислорода придает очень большое значение.

Определение биологических загрязнений позволяет дать оценку санитарного состояния сточной воды. При анализе производственных стоков наряду с указанными определениями выполняют ряд специфических, отражающих характер каждого отдельного производства.

Для характеристики сточных вод и их осадков большое значение имеет правильность отбора проб. В связи с тем, что сточные воды на очистные сооружения поступают неравномерно и состав их неоднороден, берут среднесуточные пробы. В течение суток отбирают 24 разовых пробы (через каждый час) в отдельные склянки. При наличии заметных отклонений разовых пробах от обычного вида сточной воды делают запись в журнале. Отмечают особую окраску и ее интенсивность, наличие запаха, большого количества осадка или плавающих примесей и т.п. Среднесуточную пробу получают смешением либо равных, либо пропорциональных расходу воды объемов отобранных разовых проб. При наличии автоматических пробоотборников среднесуточную пробу получают путем непрерывного отбора разовых проб небольшого объема в течение суток.

Хранят пробы не более при температуре 3-5°С в холодильнике, чтобы устранить возможность протекания окислительных процессов. Допускается консервирование проб. Наиболее часто консервацию выполняют, прибавляя к 1 л сточной воды 2 мл 25%-ной серной кислоты. Из консервированной пробы можно определить ХПК и перманганатную окисляемость, содержание общего и аммонийного азота. Следует отметить, что универсального консервирующего вещества не существует, в связи с чем консервацию выполняют разными веществами.

БПК определяют только из не консервированных проб. При определении взвешенных веществ, нитритов и нитратов для консервации применяют хлороформ (2 мл на 1 л сточной воды).

В канализационной технике широко пользуется понятием суточной нормы загрязнений на жителя. По нормам на жителя рассчитывают концентрацию загрязнений по отдельным показателям в сточной воде.

# Лабораторная работа № 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТОЧНЫХ ВОД

**Цель работы:** Изучение методик определения основных показателей сточных вод таких как, взвешенные вещества, растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода (БПК) и химическое потребление кислорода (ХПК).

### 1. Взвешенные вещества

#### Общие сведения

При принятой методике анализов нерастворенные вещества в сточных водах, задержанные на бумажном фильтре, называют взвешенными веществами.

В зависимости от размеров отдельных частиц и их плотности взвешенные вещества могут выпадать в виде осадка, всплывать на поверхность или оставаться во взвешенном состоянии.

Взвешенные вещества сточных вод делят на оседаемые и неоседаемые. К оседаемым относят вещества, выпадающие в осадок при отстаивании сточных вод продолжительностью два часа в стеклянных сосудах емкостью не менее 0,5 л. Содержание оседающих веществ выражается по объему в  $\text{см}^3/\text{дм}^3$  или по массе в  $\text{мг}/\text{дм}^3$ . К неоседаемым относятся вещества, не выпадающие в осадок в этих сосудах за два часа отстоя. Продолжительность отстаивания два часа принята условно, т.к. в отстойниках очистных сооружений продолжительность отстаивания не превышает 2-х часов.

Соотношение между количеством оседаемых и неоседаемых веществ колеблется обычно от 50 до 80 % для сточных вод канализаций разных городов.

#### Методика выполнения измерения

Для определения взвешенных веществ берется среднесуточная проба сточных вод в месте постоянного их перемешивания и отсутствия условий для оседания взвешенных веществ.

Отобранную пробу сточной жидкости фильтруют через плотный беззольный фильтр, предварительно высушенный до постоянной массы, охлажденный и взвешенный. Влажный фильтр с осадком высушивают при  $105^\circ\text{C}$  до постоянного веса. Далее высушенный фильтр переносят в эксикатор, охлаждают и взвешивают. Полученное количество абсолютно-сухого вещества относят к одному  $\text{дм}^3$ , обозначают в  $\text{мг}/\text{дм}^3$  или в  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Концентрацию взвешенных веществ определяют по формуле:

$$C_{\text{взв.в.}} = \frac{(a - b) \cdot 1000 \cdot 1000}{V}, \text{ мг / дм}^3 \quad (1.1)$$

где  $a$  - масса фильтра с осадком после сушки, г;

$b$  - масса пустого фильтра, г;

$V$  – объем пробы, взятой для фильтрования, мл.

Так как вещества плавающие и влекомые по дну не всегда удается включить в отбираемую пробу, то полученное по химическому анализу количество взвешенных веществ можно увеличить на 10-20%.

## **2. Биохимическое потребление кислорода (БПК)**

### **Общие сведения**

Биохимическое потребление кислорода (БПК) определяется количеством кислорода в миллиграммах на кубический дециметр, которое требуется для окисления находящихся в воде органических веществ.

Метод определения БПК заключается в следующем: собранную пробу насыщают путем встряхивания в течение 1 минуты кислородом воздуха, разливают в две кислородные склянки и в одной из них определяют содержание кислорода тотчас, а в другой – после 5-суточного хранения в темноте. Найденное уменьшение в содержании кислорода в перерасчете на миллиграмм на кубический дециметр дает величину БПК за 5 суток. Эта убыль в содержании кислорода обусловлена главным образом протекающими в аэробных условиях биохимическими процессами, ведущими к распаду (минерализации) органического вещества.

В загрязненных водах кислорода может не хватить для покрытия всей потребности воды в кислороде. Такие воды необходимо перед началом определения разбавлять специально заготовленной «разбавляющей водой». В качестве «разбавляющей воды» берут водопроводную воду, отстаиваемую в открытой бутылке в темном месте в течение суток или дистиллированную.

БПК разбавляющей воды учитывают при вычислении БПК исследуемой воды.

### **Методика выполнения измерения**

#### **Определение БПК без разбавления**

Без разбавления можно найти БПК воды «чистой», водопроводной, дистиллированной, воды водоема или воды, прошедшей сооружения полной биологической очистки, доочистки т.е. такой, БПК которой не более  $5-7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ .

Исследуемую воду переливают в лаборатории в бутылку, наполнив ее не более чем на  $2/3$  объема, доводят температуру воды до  $20^\circ\text{C}$  (нагревая на водяной бане или охлаждая) и сильно встряхивают в течение одной минуты для насыщения воздухом.

После этого наливают исследуемую воду в три склянки с притертыми пробками до краев. Склянка должна быть заполнена так, чтобы при закрытии ее пробкой вытекло немного воды (жидкости) и при этом в склянке не осталось пузырьков воздуха. В одну из них прибавляют реактивы и определяют растворенный кислород. Две другие склянки с испытываемой водой ставят в термостат (с температурой  $20^\circ\text{C}$ , регулируемой в пределах  $\pm 1^\circ\text{C}$ ) на 5 суток, по прошествии которых опре-

деляют оставшийся растворенный кислород.

Расчет БПК<sub>5</sub> без разбавления ведут по формуле:

$$L_5 = A_1 - A_2, \text{ мгО}_2 / \text{дм}^3 \quad (1.2)$$

где  $A_1$  – содержание растворенного кислорода в воде до инкубации (в день отбора пробы), мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$A_2$  – содержание растворенного кислорода в воде после инкубации (после хранения пробы в течении 5 суток в темном месте при  $t = 20^\circ\text{C}$ , мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

### **Определение БПК с разбавлением**

Испытываемую воду, доведенную до температуры 20°C, разбавляют заготовленной разбавляющей водой таким образом, чтобы убыль кислорода за 5 суток была не менее 4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> и, чтобы остаток его по истечении этого времени не был ниже 2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Когда величина БПК неизвестна, необходимо производить несколько разбавлений. Ориентировочно сточной воды следует брать: для концентрированных промышленных сточных вод 0,1-1 %; для бытовой сточной воды 1-5 %; для биологически очищенной 5-25 %; для вод загрязненных водоемов 25 % и выше.

Разбавлять воду можно следующим образом. В мерную колбу емкостью 1 дм<sup>3</sup> наливают 0,5 дм<sup>3</sup> разбавляющей воды. Отбирают пипеткой определенный объем исследуемой воды и переносят в колбу. Смесь сточной жидкости и воды доливают до метки разбавляющей водой и тщательно взбалтывают.

Полученную смесь переливают в две или лучше в три калиброванных склянки. Если специальные кислородные склянки отсутствуют, то пользуются обычными склянками с притертыми пробками. Если склянки было три, то две тщательно закрывают пробками и ставят в термостат для инкубации, а в третьей определяют содержание растворенного кислорода.

Расчет БПК<sub>5</sub> с разбавлением ведут по формуле:

$$L_5 = L_p \cdot N - L_g (N - 1), \text{ мгО}_2 / \text{дм}^3 \quad (1.3)$$

где  $L_5$  – БПК<sub>5</sub> исследуемой воды, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$L_p$  – найденное БПК<sub>5</sub> разбавленной исследуемой воды, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, (ход определения см. «Определение БПК без разбавления»);

$L_g$  – найденное БПК<sub>5</sub> разбавляющей воды, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, (ход определение см. «Определение БПК без разбавления»);

$N$  – величина разбавления.

## **3. Определение растворенного кислорода (по Винклеру)**

### **Общие сведения**

Метод основан на образовании гидрата закиси марганца в исследуемой воде. Под влиянием растворенного в воде кислорода гидрат закиси марганца быстро переходит в высшие окислы марганца, кото-

рые при подкислении в присутствии солей йодистоводородной кислоты выделяют йод в количестве, эквивалентном кислороду, содержащемуся во взятой пробе воды. Таким методом пользуются при содержании в воде не выше  $0,1 \text{ мг/дм}^3$  азота нитратов и не более  $1 \text{ мг/дм}^3$  окисного железа. Другие окислители или восстановители должны отсутствовать.

### **Методика выполнения измерения**

Количество прибавляемых реактивов рассчитано на объем склянок 150-250 мл. Для склянок объемом 125 мл и меньше можно прибавлять по 0,5 мл реактивов.

В склянку, заполненную доверху испытываемой жидкостью, прибавляют 1 мл раствора соли марганца и 1 мл щелочного раствора йодистого калия, реактивы надо вводить под поверхность жидкости и не особенно быстро во избежание взмучивания образующегося осадка, его выноса и потери при закрывании пробкой. Затем склянку осторожно закрывают пробкой так, чтобы под пробкой не осталось пузырьков воздуха. Закрытую склянку 40 раз переворачивают вверх дном и добиваются равномерного распределения осадка по всему объему. При недостаточном перемешивании кислород в верхней части склянки может оказаться непоглощенным, так как осадок оседает очень быстро. Если в склянку объемом 250 мл прибавить 1 мл раствора марганца, кислород поглощается полностью за 40 - 50 секунд тщательного перемешивания.

Затем дают осадку собраться на дне, открывают склянку и добавляют 3 мл серной кислоты (2:3), выпуская ее на уровне горлышка склянки, чтобы не выпустить осадок, немедленно закрывают пробкой и переворачивают склянку несколько раз. Если при приливании кислоты осевший осадок начинает всплывать, что происходит за счет выделяющегося углекислого газа, то объясняется это не только обилием карбонатов в щелочном растворе йодида, но и карбонатной жесткостью испытываемой жидкости. Чтобы избежать возникающей заметной ошибки, надо перед подкислением отбавить из склянки три миллилитра жидкости в колбу для титрования, в которой содержится немного кислоты. Вставляя пробку, следует собирать вытекающую жидкость в колбу для титрования.

После растворения осадка содержимое склянки выливают в колбу для титрования. Титруют раствором тиосульфата натрия до бледно-соломенного цвета. Затем в колбу прибавляют 0,5-1 мл крахмала и быстро оттитровывают до первого исчезновения синей окраски. Последующее посинение, возникающее за счет железа и каталитического действия нитритов, не учитывается.

Для вычисления содержания кислорода в  $\text{мг/дм}^3$  (X) пользуются следующей формулой:

$$X = \frac{0,08 \cdot K \cdot n \cdot 1000}{V_1 - V_2}, \text{ мг / дм}^3 \quad (1.4)$$

где 0,08 - количество кислорода, которому соответствует 1 мл 0,01 н. раствора тиосульфата натрия, мг;

K - поправочный коэффициент раствора тиосульфата натрия;

n - количество раствора тиосульфата натрия, затраченное на титрование, мл;

$V_1$  – объем склянки, в которой фиксировался кислород, мл;

$V_2$  – объем реактивов, взятых для осаждения, мл, для склянок объемом 150-250 мл  $V_2=2$  мл.

#### 4. Химическое потребление кислорода (ХПК)

##### Общие сведения

БПК сточных вод не характеризует полного количества органических веществ, содержащихся в сточных водах, так как часть из них не поддается окислению биохимическим методом, а часть веществ расходуется на прирост биомассы. Поэтому для определения полного количества кислорода, необходимого для окисления сточных вод, применяют химические методы окисления, а именно иодатную и бихроматную окисляемость. Количество кислорода эквивалентное расходу окисления, выражает окисляемость, называемую химической потребностью в кислороде (ХПК). Пробу сточной воды смешивают с химически чистой концентрированной серной кислотой, к которой добавляют соли хромовой кислоты, отдающие свой кислород для окисления. Окисление ведется при кипячении.

Химическим потреблением кислорода (ХПК) называется величина, характеризующая общее содержание в воде восстановителей (неорганических и органических), реагирующих с сильными окислителями.

При определении химического потребления кислорода проба окисляется бихроматом калия в серной кислоте. Избыток бихромата калия оттитровывают титрованным раствором соли Мора. Количество способного к окислению органического вещества пропорционально потребленному бихромату калия. Если в качестве катализатора вводить смесь сульфат серебра, то окисление органических веществ бихроматом калия ускоряется.

Перед определением ХПК анализируемую воду следует профильтровать. Рекомендуются промывать фильтр предварительно горячей водой и отбрасывать первую порцию (200-250 мл) фильтрата, т.к. при применении бумажного фильтра в процессе фильтрования из фильтра в раствор могут переходить органические вещества, или же часть органических веществ сточной воды может адсорбироваться волокнами фильтра.

## Методика выполнения измерения

**При выполнении работы следует соблюдать правила техники безопасности!**

1. Отобрать такую порцию анализируемой сточной воды, чтобы на ее окисление расходовалось не более 20 мл титрованного раствора бихромата калия (0,5-1,5 мл), разбавляют ее дистиллированной водой до 25 мл, переносят в круглодонную колбу емкостью 300 мл, прибавляют 12,5 мл титрованного раствора бихромата калия и осторожно малыми порциями вливают 37,5 мл концентрированной серной кислоты, тщательно перемешивая смесь после добавления каждой порции.

2. Насыпают в круглодонную колбу 0,3-0,4 г сульфата серебра, вводят в колбу несколько стеклянных бусинок или кусочков пемзы, закрывают пробкой, соединенной с обратным холодильником, и нагревают до слабого кипения, которое поддерживают в течение 2 часов.

3. Охлаждают, обмывают стенки холодильника 25 мл дистиллированной воды и переносят содержимое этой колбы в коническую колбу емкостью 500 мл, обмывают стенки первой колбы несколько раз дистиллированной водой.

4. Добавляют дистиллированную воду до объема 175 мл, вводят 3-4 капли раствора дифениламина или ферроина (10-15 капель раствора фенилантраниловой кислоты) и оттитровывают избыток бихромата титрованным раствором соли Мора.

5. Проводят «холостой» опыт: для этого берут 25 мл дистиллированной воды и проводят ее через все ступени анализа.

6. Химическое потребление кислорода (ХПК), вычисляют по формуле:

$$\text{ХПК} = \frac{(a - b) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V}, \text{ мгО}_2 / \text{дм}^3, \quad (1.5)$$

где  $a$  – объем раствора соли Мора, израсходованного на титрование в холостом опыте, мл;

$b$  – объем того же раствора, израсходованного на титрование пробы, мл;

$N$  – нормальность титрованного раствора соли Мора;

$V$  – объем пробы сточной воды, взятой для анализа, мл;

$8$  – количество кислорода, соответствующее 1 мл бихромата калия, мг.

При условии большого содержания окислителей в сточной воде, а также, если определение значения ХПК не требует высокой точности, можно воспользоваться экспресс методом:

1. Отбирается 20 мл исследуемой жидкости в коническую колбу, добавляется 10 мл 0,25 н. бихромата калия и 30 мл серной кислоты (конц.).

2. За счет добавления кислоты раствор начинает быстро нагреваться. Остужаем колбу с раствором и добавляем 3-4 капли дифенилами-

на и титруется солью Мора до зеленоватой окраски.

3. Для проверки нормальности соли Мора выполняется холостой опыт. В колбу отбирается 100 мл дистиллированной воды и добавляется 10 мл 0,25 н. бихромата калия и 10 мл серной кислоты (конц.). Остужается и титруется раствором соли Мора до зеленоватой окраски. Нормальность высчитывается по формуле:

$$N_{\text{с.Мора}} = \frac{N_{\text{бихромата калия}} \cdot V_{\text{бихромата калия}}}{V_{\text{с.Мора}}} \quad (1.6)$$

4. После уточнения нормальности соли Мора рассчитывается ХПК по формуле:

$$\text{ХПК} = \frac{V_{\text{с.Мора}} \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V}, \text{ мгО}_2 / \text{дм}^3 \quad (1.7)$$

где  $V_{\text{с. Мора}}$  – объем соли Мора, израсходованного на титрование, мл.

В заключении анализируют данные и делают вывод по работе.

### Контрольные вопросы

1. Дать определения показателей качества сточной воды: взвешенные вещества, биохимическое потребление кислорода, химическое потребление кислорода.

2. В чем заключается методика выполнения измерения концентрации взвешенных веществ в сточной воде?

3. В чем заключается методика определения БПК и ХПК?

4. Как определяется растворенный кислород по методу Винклера?



### 3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Целью лабораторных работ является ознакомлением с технологическими процессами механической очистки.

Механическую очистку сточных вод проводят для выделения из сточной жидкости нерастворенных грубодисперсных примесей путем ее процеживания, отстаивания и фильтрования.

РЕШЕТКИ предназначены для выделения из сточных вод грубых веществ, размеры которых более величины прозоров решетки.

Количество снятых отбросов учитывают путем сбора их в контейнер определенного объема. Одновременно фиксируют количество прошедших сточных вод через решетки. В характеристике снятых с решеток загрязнений указывают влажность удаляемой массы, зольность и содержание тряпья и бумаги. Исследуют отбросы путем ручной сортировки, высушивания выделенных фракций на водяной бане и взвешивания на технических весах. Плотность отбросов зависит от их состава и для расчетов принимается равной  $750 \text{ кг/м}^3$ .

ПЕСКОЛОВКИ предназначены для выделения из сточной жидкости песка и других тяжелых минеральных примесей, которые затрудняют перекачку осадков. В зависимости от характера движения воды песколовки подразделяются на горизонтальные (с горизонтальным прямоточным и круговым движением воды), вертикальные (вода подается снизу и направляется вверх) и с вращательным движением воды (тангенциальные и аэрируемые).

Технологические параметры работы песколовочек характеризуются количеством и качеством задерживаемого песка. Количество песка обычно определяют объемным способом, для чего песок гидроэлеватором перекачивают в измерительный лоток; результат измерений выражают в литрах песка, выделенного с  $1000 \text{ м}^3$  сточной жидкости. К качественным показателям уловленного осадка относятся плотность, влажность, зольность, содержание песка в осадке, фракционный состав песка в осадке.

ПЕРВИЧНЫЕ ОТСТОЙНИКИ предназначены для выделения из сточных вод нерастворимых взвешенных грубодисперсных примесей преимущественно органического происхождения. Применяют как основное сооружение механической очистки сточных вод.

Эффективность задержания взвеси первичными отстойниками изменяется в зависимости от ряда факторов - времени отстаивания, исходной концентрации взвешенных веществ, температуры сточных вод и конструктивных особенностей сооружения. В среднем в отстойниках задерживается 40-50% взвешенных веществ. В процессе отстаивания сточной жидкости в результате сорбции и осаждения происходит снижение концентрации загрязнений, фиксируемых величинами БПК и ХПК, примерно на 10-25%, фосфатов - на 20-30, азота общего - на 20-30, биологических загрязнений - до 50%.

## Лабораторная работа № 2

# АНАЛИЗ ОСАДКА, ЗАДЕРЖИВАЕМОГО В ПЕСКОЛОВКАХ

**Цель работы:** определить основные показатели осадка, задерживаемого в песколовках, и сделать вывод об эффективности ее работы.

### 1. Общие сведения

Характеризовать работу песколовки можно по качеству уловленного осадка, т.е. по плотности, влажности, зольности, содержанию песка в осадке, а также по фракционному составу песка в осадке.

Нормальная влажность осадка 25-30 %, плотность 1,6-1,8 т/м<sup>3</sup>, большая влажность осадка и малая его плотность свидетельствуют о том, что в нем содержится много органических загрязнений. Такой осадок трудно обезвоживается на песковых площадках и загнивает, его нельзя использовать для планировки местности.

Два показателя - содержание песка в осадке и зольность - обычно очень близки и отличаются не более чем на 5-7 %. Всегда выше показатель зольности, поскольку им (помимо содержания песка) учитывается минеральная часть крупных примесей. Чем меньше отличаются эти показатели друг от друга, тем эффективнее работает песколовка; большая разница между показателями содержания песка и зольности показывает, что песколовка задерживает крупные отбросы. Если зольность осадка из песколовки больше 80%, а содержание песка в осадке больше 75%, то работу песколовки можно считать удовлетворительной. Меньшие значения зольности и содержания песка в осадке свидетельствуют о малой скорости течения воды в песколовке, большой ее длине, плохих гидравлических условиях работы и др.

Если в осадке из песколовки содержится больше 30% песка фракции меньше 0,25 мм, то можно считать, что песколовка работает удовлетворительно. Меньшее содержание этой фракции песка в осадке говорит о том, что в песколовке песок задерживается недостаточно полно и часть его вынесена на последующие сооружения.

### 2. Методика проведения работы и обработки опытных данных

Исходную пробу осадка тщательно перемешивают для обеспечения однородности. Затем из нее отбирают две пробы для анализов: одну для определения влажности и зольности; другую для определения плотности, содержания песка в осадке и фракционного состава песка.

**Определение влажности и зольности осадка.** Фарфоровую чашку взвешивают на технических весах и помещают в нее около 100 г осадка. Чашку с осадком вновь взвешивают и ставят для просушивания на водяную баню. После этого чашку с осадком ставят для окончательного просушивания в сушильный шкаф, в котором поддерживается постоянная температура 105°С. Для определения зольности чашку с сухим осадком ставят в муфельную печь для прокаливания при темпе-

ратуре 600 - 700°C.

**Расчет.** Массу сухого осадка определяют как разность массы чашки с сухим осадком и массы пустой чашки. Количество влаги, содержащейся в осадке, определяют как разность массы влажного  $m_2$ , г, и массы сухого  $m_1$ , г, осадка. Масса влаги, выраженная в процентах от массы осадка, представляет собой его влажность

$$P = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

Массу золы  $m_3$ , г, определяют как разность массы чашки с прокаленным осадком и массы пустой чашки. Зольность – это масса золы, выраженная в процентах от массы сухого осадка:

$$З = \frac{m_3}{m_1} \cdot 100, \% \quad (2.2)$$

Полученные данные заносят в таблицу 2.1.

**Определение плотности осадка.** Цилиндр емкостью 100 см<sup>3</sup> взвешивают на технических весах и помещают в него осадок, встряхивая цилиндр на ладони после каждого добавления осадка. Цилиндр, заполненный осадком до метки 100 см<sup>3</sup>, вновь взвешивают. Разность масс цилиндра с осадком и пустого цилиндра, увеличенная в 10 раз, дает массу осадка в 1000 см<sup>3</sup>, т.е. плотность осадка.

Полученные данные заносят в таблицу 2.1.

**Определение содержание песка в осадке.** Осадок, изъятый из цилиндра, разбавляют водой и процеживают через сита с ячейками размером 3 и 1,5 мм. Крупный песок и органические включения, оставшиеся на ситах, переносят в две фарфоровые чашки и осторожно отмывают песок водой от органических веществ. Отмытый песок переносят в большую фарфоровую чашку. К осадку, прошедшему через сита, добавляют воду, а затем сливают ее. Слив воды производят так, чтобы с водой не удалялся даже самый мелкий песок. Со сливаемой водой из осадка отмываются все органические примеси. Отмытый песок также переносят в большую фарфоровую чашку. После просушивания песка на водяной бане чашку с песком ставят в сушильный шкаф для окончательного просушивания. Затем чашку с высушенным песком помещают на несколько часов в муфельную печь для прокаливания. Прокаленный песок взвешивают на технических весах.

Содержание песка в сухом осадке определяют как отношение массы песка к массе сухого вещества в 100 см<sup>3</sup> осадка, выраженное в процентах:

$$\Pi = \frac{G_{100} \cdot (100 - P)}{100}, \% \quad (2.3)$$

где  $G_{100}$  – масса 100 см<sup>3</sup> осадка;

$P$  – влажность, %.

Полученные данные заносят в таблицу 2.1.

**Определение фракционного состава песка.** Определение производят методом ситового анализа. Прокаленный песок просеивают через последовательный ряд сит с размерами ячеек 1; 0,5; 0,25; 0,14 и 0,09 мм, закрепленных на вибрационном столе. Песок, оставшийся на каждом сите, взвешивают на технических весах. Содержание песка определенных фракций в анализируемом осадке определяют как отношение массы песка на каждом сите, к суммарной массе песка, выраженной в процентах.

Полученные данные заносят в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики осадка, задерживаемого в песколовках.

№ опыта	Влажность, %				Зольность, %		Плотность, г/см <sup>3</sup>			Содержание песка в осадке, %	Фракционный состав				Примечание
	Масса чашки, г	Масса чашки с сырым осадком, г	Масса чашки с сухим осадком, г	Влажность, %	Масса чашки после прокаливания, г	Зольность, %	Масса цилиндра, г	Масса цилиндра с сухим осадком, г	Плотность, г/см <sup>3</sup>		> 1	0,5-1	0,25-0,5	<0,25	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

В заключении сравнивают полученные данные качественного состава уловленного осадка с литературными показателями и делают вывод об эффективности работы песколовку.

### 3. Контрольные вопросы

1. Какими показателями характеризуется работа песколовки?
2. В чем заключается методика определения влажности, зольности, плотности осадка?
3. Каким методом производится определение фракционного состава песка?

Лабораторная работа 3  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИКИ ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ  
ВЕЩЕСТВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД**

**Цель работы:** 1. Определить эффект осветления сточных вод в зависимости от продолжительности отстаивания и исходной концентрации взвешенных веществ.

2. Построить графики кинетики осаждения взвешенных веществ  $\mathcal{E}_i = f(t)$ ,  $\mathcal{E}_i = f(W)$ ,  $\mathcal{E}_i = f(U_0)$ .

### 1. Общие сведения

В сточных водах содержится обычно большое количество различных нерастворенных (взвешенных) веществ. Взвешенные вещества сточных вод делят на оседающие - выпадающие в осадок при отстаивании продолжительностью 2 часа в спокойном состоянии, и неоседающие - не выпадающие в осадок за 2 часа отстоя. Взвешенные вещества, содержащиеся в сточной жидкости, состоят из частиц различных размеров, гидравлическая крупность которых изменяется в значительных пределах. Такие взвешенные вещества называются полидисперсными.

Наиболее простым и часто применяемым на практике способом очистки сточных вод от взвешенных веществ является отстаивание. При отстаивании на кинетику осаждения взвешенных веществ оказывает влияние целый ряд факторов. Основными из них являются: размер и форма частиц, температура сточной жидкости, удельные веса жидкости и частиц, вязкость воды и другие. При осаждении взвесей происходит взаимодействие частиц между собой, что приводит к агломерации их и изменению скорости выпадения (гидравлической крупности), используемой для расчета отстойников различных типов. Полное представление о динамике осаждения полидисперсных взвешенных веществ из сточных вод дают кривые зависимости эффекта осветления воды  $\mathcal{E}_i$  от продолжительности отстаивания  $t$  или условной гидравлической крупности  $U_0$ . Гидравлическая крупность  $U_0$ , мм/с, определяется по формуле

$$U_0 = h/t, \text{ мм / с} \quad (3.1)$$

где  $h$  – высота слоя жидкости в эталонном цилиндре, мм;

$t$  – продолжительность отстаивания, с.

Кинетику осаждения взвешенных веществ устанавливают экспериментально в лабораторных условиях путем построения кривых осаждения (седиментации). Количество оседающих веществ следует определять в цилиндрах высотой 500 мм и диаметром не менее 120 мм. Кинетика выпадения взвешенных веществ производится весовым и объемным способом.

## 2. Методика проведения работы и обработки опытных данных

1. Исследуемую воду тщательно взбалтывают и наливают в 10 цилиндров высотой 500 мм и диаметром не менее 120 мм. Через определенные промежутки времени (1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 90, 120 минут) ведут отбор проб в количестве 100 мл.

2. В отобранной пробе определяют концентрацию взвешенных веществ. Отобранную пробу отфильтровывают через беззольные фильтры, предварительно высушенные до постоянного веса и взвешенные с точностью 0,001 г. Затем фильтр с осадком помещают в сушильный шкаф и сушат при температуре равной 105<sup>0</sup>С до постоянного веса. Далее переносят в эксикатор, охлаждают и взвешивают.

Концентрацию взвешенных веществ определяют по формуле:

$$C = \frac{(a - b) \cdot 1000 \cdot 1000}{V}, \text{ мг / дм}^3 \quad (3.2)$$

где a - масса фильтра с осадком после сушки, г;

b - масса пустого фильтра, г;

V – объем пробы, взятой для фильтрации, мл.

3. Одновременно определяют концентрацию взвешенных веществ в исходной воде.

4. Одновременно в цилиндрах замеряют количество выпавшего осадка на дно сосуда за определенные промежутки времени.

5. По результатам определений строят графики зависимости эффекта осветления от продолжительности отстаивания (рис.3.1.), количества выпавшего осадка от времени отстаивания (рис.3.2.) и эффекта осветления сточных вод от минимальной гидравлической крупности частиц взвеси (рис.3.3.).

Эффект осветления определяют по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{C_0 - C}{C_0} 100, \% \quad (3.3)$$

где C<sub>0</sub> – концентрация взвешенных веществ в исходной воде, мг/дм<sup>3</sup>;

C – концентрация взвешенных веществ в отстоянной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Результаты опытных данных сводятся в таблицу 3.1

Таблица 3.1 - Параметры кинетики осаждения взвешенных веществ

N <sub>ф</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t, мин	0	1	3	5	10	15	20	30	60	90	120
a, г											
b, г											
C, мг/л											
Э, %											
h <sub>ос</sub> , см											
V <sub>ос</sub> , см <sup>3</sup>											
W, %											
U <sub>0</sub> , м/с											

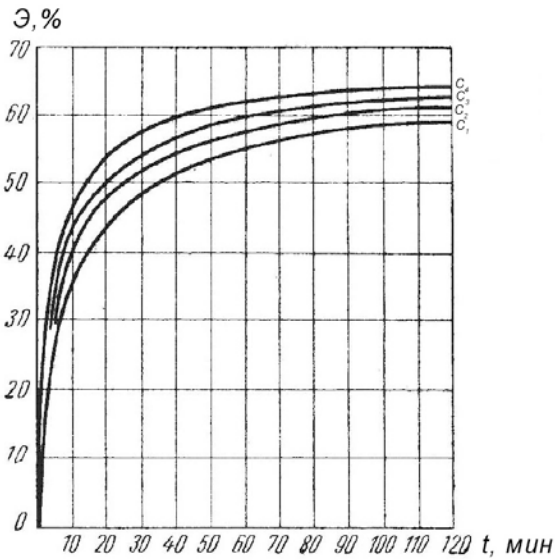


Рисунок 3.1 – График зависимости эффекта осветления сточных вод от продолжительности отстаивания и исходной концентрации взвешенных веществ, при начальной концентрации взвешенных веществ  $C_1, C_2, C_3, C_4$ .

При построении графика зависимости количества выпавшего осадка от продолжительности отстаивания и исходной концентрации взвешенных веществ за 100% принимают объем осадка, выпавшего за 2 часа отстоя.

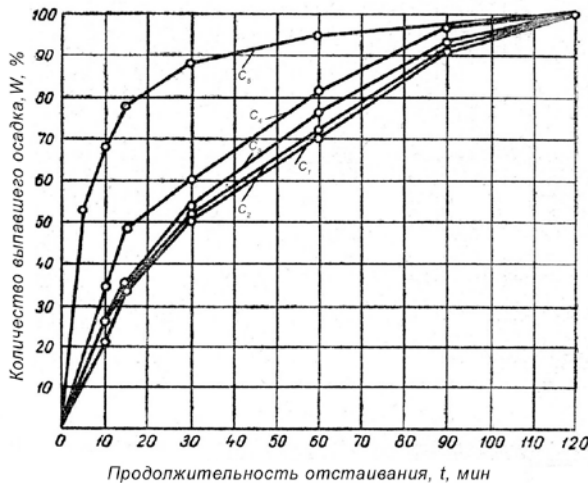


Рисунок 3.2 – График зависимости количества выпавшего осадка от продолжительности отстаивания и исходной концентрации взвешенных веществ, при начальной концентрации взвешенных веществ  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ .

При построении графика зависимости эффекта осветления сточных вод от минимальной гидравлической крупности частиц взвеси по формуле (2.1) определяют гидравлическую крупность частиц взвеси, выпадающих в осадок в мм/сек.

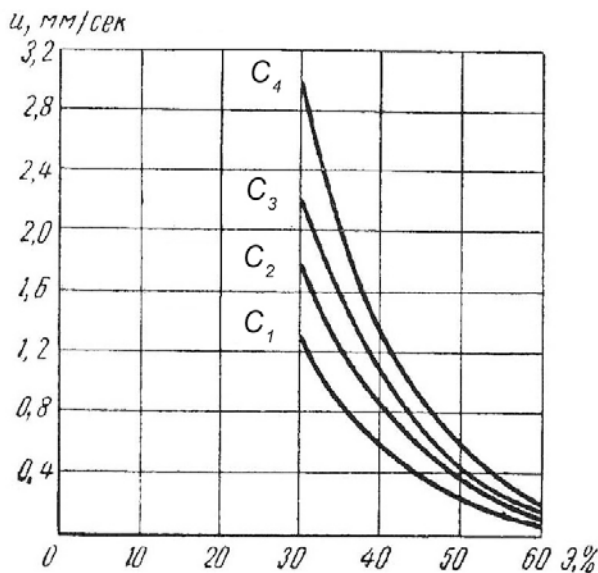


Рисунок 3.3 - График зависимости эффекта осветления сточных вод от минимальной гидравлической крупности частиц взвеси, выпадающих в осадок, при начальной концентрации взвешенных веществ  $C_1, C_2, C_3, C_4$ .

Более правильные следует считать весовой способ определения кинетики выпадения взвешенных веществ сточных вод, так как осадок, выпавший в начале процесса осаждения к концу опыта с увеличением продолжительности отстаивания уплотняется. При этом уменьшается его влажность, а значит и объем. Полученные кривые выпадения взвеси характеризуют ее дисперсный состав и поведение при отстаивании. Чем круче начальный участок, тем больше крупность и неоднородность взвеси, и тем скорее она осаждается. Переход кривой в прямую линию, параллельную оси абсцисс, указывает на завершение процесса осаждения. При этом в сточной воде может остаться еще значительное количество примесей с удельным весом, близким или равным удельному весу самой воды.

### **3. Контрольные вопросы**

1. Какие факторы оказывают влияние на кинетику осаждения взвешенных веществ?
2. Что такое гидравлическая крупность частиц взвеси?
3. В чем заключается методика определения кинетики выпадения взвешенных веществ весовым и объемным методами? Какой способ определения более точен и почему?

### Лабораторная работа 4

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕРВИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ**

**Цель работы:** 1. Дать оценку технологической эффективности работы первичных отстойников и составить технологическую карту первичных радиальных отстойников.

2. Разработать мероприятия по повышению эффективности отстойника.

### **1. Общие сведения**

Отстойники применяют как основное сооружение механической очистки сточных вод, они предназначены для выделения из сточных вод нерастворимых взвешенных грубодисперсных примесей преимущественно органического происхождения.

Технологическую эффективность работы первичных отстойников следует оценивать по концентрации взвешенных веществ в поступающей на отстойники воде и осветленной сточной воде, а также по количеству и влажности задерживаемого осадка. Кроме того, вместе с частицами примесей первичные отстойники изымают органические вещества (в норме БПК и ХПК снижается на 15-30%).

Эффективность удаления взвешенных веществ зависит от их первоначальной концентрации и дисперсности, а также от продолжительности отстаивания. В нормальном режиме работы в вертикальных отстойниках содержание взвешенных веществ снижается до 40 %, в ра-



диальных и горизонтальных - до 50 % при времени пребывания сточной воды 1,5 ч. При увеличении времени пребывания сточной воды до 2,0-2,5 ч содержание взвешенных веществ может быть дополнительно снижено на 5-10 %.

Необходимо так отрегулировать работу первичных отстойников, чтобы избежать как перегрузки аэротенков по содержанию загрязняющих веществ, так и их недогрузки, т.е. не допустить "голодания" активного ила. Недостаточное время первичного отстаивания при гидравлических перегрузках вызывает увеличение прироста активного ила, что повышает объем утилизируемого ила, увеличивает влажность осадка из вторичных отстойников до 99%.

Таким образом, эффективность первичного отстаивания определяется следующими факторами: исходной концентрацией взвешенных веществ, временем отстаивания, температурой воды, конструктивными особенностями первичных отстойников, нагрузкой осветленной воды на водослив, своевременной отгрузкой сырого осадка.

При внешнем осмотре первичных отстойников для выявления причин их неэффективной работы следует обращать внимание на:

- соблюдение расчетного времени пребывания воды в отстойнике (состояние водослива, гребней), равномерный перелив сточной воды;
- своевременное удаление осадка (наличие выделения газов, всплывание на поверхность сброженного осадка);
- вынос плавающих частиц с осветленными водами, появление жировых и нефтяных пятен.

## **2. Методика проведения работы и обработки опытных данных**

1. Экскурсия на Брестские очистные сооружения канализации.

1.1. Ознакомиться с устройством, принципом работы отстойников и их конструктивными размерами. Заполнить таблицу 4.1.

1.2. Оценить горизонтальное и вертикальное состояние водосливов, равномерность перелива воды.

1.3. Оценить состояние скребковых ферм и жиросборника.

1.4. Наличие выноса плавающих веществ из отстойника, всплывание осадка со дна отстойника, выделение пузырьков газа.

1.5. Заполнить технологическую карту первичных отстойников (таблица 4.2) по журналу на очистных сооружениях.

2. Занятие в лаборатории.

2.1. Определить продолжительность отстаивания воды в первичных отстойниках:

$$T = \frac{V_{з.отс.}}{Q} = \frac{\pi \cdot (D_{set}^2 - d_{en}^2) \cdot H_{set}}{4 \cdot Q}, \text{ ч} \quad (4.1)$$

где  $V_{з.отс.}$  – объем зоны отстаивания,  $\text{м}^3$ ;

$Q$  – расход воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

2.2. Определить среднюю скорость рабочего потока:

$$v = \frac{2 \cdot Q}{3,6 \cdot \pi \cdot D_{\text{set}} \cdot H \cdot N}, \text{ мм / с} \quad (4.2)$$

где  $D_{\text{set}}$  - диаметр отстойника, м;

$N$  – количество отстойников.

2.3. По вычисленному времени  $T$  рассчитать гидравлическую крупность оседающих частиц.

$$U_0 = \frac{H_{\text{set}}}{3,6 \cdot K_{\text{set}} \cdot T}, \text{ мм / с} \quad (4.3)$$

где  $H_{\text{set}}$  – рабочая глубина воды в отстойнике, м;

$K_{\text{set}}$  – коэффициент объемного использования, для радиальных отстойников 0,45.

2.4. Рассчитать эффект очистки сточных вод в отстойниках по взвешенным веществам и по БПК<sub>5</sub>.

$$\varepsilon = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100, \% \quad (4.4)$$

где  $C_0$  – концентрация загрязняющего вещества в исходной воде, мг/дм<sup>3</sup>;

$C$  - концентрация загрязняющего вещества в очищенной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

2.5. Сделать вывод по работе.

Таблица 4.1. Конструктивные параметры первичных отстойников .

№ очереди	Тип отстойника	Количество отстойников	Диаметр, $D_{\text{set}}$ , м	Рабочая глубина воды, $H_{\text{set}}$ , м	Объем зоны отстаивания, $V_{\text{з.отс}}$ , м <sup>3</sup>	Расход воды $Q$ , м <sup>3</sup> /ч
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 4.2 - Технологическая карта работы первичных отстойников

Номер отстойника	Количество очищаемой сточной воды, м <sup>3</sup> /сут		Продолжительность отстаивания, ч		Скорость рабочего потока, мм/с		Показатели качества сточной воды, мг/дм <sup>3</sup>				Эффект очистки, %		
	проектн.	фактич.	проектн.	фактич.	проектн.	фактич.	поступающей		очищенной		Взв. в-ва	БПК <sub>5</sub>	
							Взв. в-ва	БПК <sub>5</sub>	Взв. в-ва	БПК <sub>5</sub>			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	

### 3. Контрольные вопросы

1. Назначение первичных отстойников.
2. Какая эффективность удаления загрязняющих веществ в первичных отстойниках?
3. Какими факторами определяется эффективность первичного отстаивания?

## 4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Сущность биологической очистки заключается в минерализации органических загрязнений сточных вод, находящихся в виде тонко диспергированных нерастворенных и коллоидных веществ, а также в растворенном состоянии при помощи биохимических процессов. Для городских очистных станций это в основном аэробные процессы.

Биологические методы основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые способствуют окислению или восстановлению органических веществ, находящихся в сточных водах и являющихся для микроорганизмов источником питания, в результате чего и происходит очистка сточных вод.

В зависимости от условий, в которых происходит очистка, биологический метод подразделяют на два вида: 1) протекающий в естественных условиях; 2) протекающий в искусственно созданных условиях.

В искусственно созданных условиях процесс идет более интенсивно, потому что искусственным путем создаются лучшие условия, для развития активной жизнедеятельности микроорганизмов. Для такой очистки применяют биофильтры и аэротенки.

При очистке сточных вод в аэротенках используется активный ил, хлопья которого населены многочисленными микроорганизмами, минерализаторами органических загрязнений. Вода, прошедшая аэротенки, содержит активный ил. Для отделения от ила она направляется во вторичные отстойники. Поэтому в комплекс сооружений биологической очистки входят и вторичные отстойники.

### Лабораторная работа 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОТЕНКА

**Цель работы:** 1. Определить технологические характеристики аэротенка и составить технологическую карту их работы.

2. Дать оценку технологической эффективности работы аэротенка.

#### 1. Общие сведения

Системы с активным илом (аэротенки и другие емкостные сооружения с активным илом) следует применять для биологической очистки бытовых и производственных сточных вод от органических и неорганических примесей, подверженных биохимическому разложению. В зависимости от технологической схемы очистки, состава и типа сооружений в них может реализовываться полная или частичная очистка от веществ, подверженных биохимическому разложению, нитрификация, денитрификация, удаление соединений фосфора.

Активный ил - комплекс микроорганизмов (простейшие, бактерии, вирусы) с адсорбированными на них и частично окисленными загрязняющими веществами сточных вод.

Для удаления соединений азота в системах биологической очистки с активным илом следует предусматривать нитрификацию с окислением аммонийных форм азота в аэробных условиях и денитрификацию в анаэробных условиях с преобразованием азота нитратов в молекулярный азот. Для удаления соединений фосфора биологическим методом следует предусматривать анаэробные технологические емкости, размещаемые после первичного отстаивания.

Для одновременной реализации процессов удаления органических загрязнений, нитрификации, денитрификации и биологического удаления фосфора в реакторах с активным илом в различной последовательности могут чередоваться три основные зоны: аэробная, анаэробная и анаэробная.

При проектировании и эксплуатации систем с активным илом основными технологическими параметрами, характеризующими процесс биологической очистки сточных вод и определяющими эффективность работы сооружений, являются нагрузка на ил, объемная нагрузка, продолжительность аэрации, возраст, концентрация и прирост ила.

Нагрузка на ил по БПК<sub>5</sub>, мг/(г·сут), определяется соотношением количества подаваемых за сутки загрязнений и количеством беззольного вещества активного ила:

$$N = \frac{\text{БПК}_5 \cdot Q}{V \cdot a \cdot (1 - Z_u)} = \frac{\text{БПК}_5 \cdot 24}{T_{\text{аэр}} \cdot a \cdot (1 - Z_u)}, \text{ мг / г} \cdot \text{сут.} \quad (5.1)$$

где Q - расход поступающих сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

V - объём аэротенка, м<sup>3</sup>;

T<sub>аэр</sub> - время аэрации, ч;

a - доза ила по сухому веществу, г/л;

Z<sub>u</sub> - зольность ила, принимается 0,3.

В аэротенках, работающих на полную биологическую очистку, ил сохраняет свою нормальную активность при нагрузке по БПК (на беззольное вещество ила) в пределах 200–500 мг/(г·сут), при очистке с нитрификацией нагрузка по БПК должна быть в пределах 100–150 мг/(г·сут), при очистке с нитрификацией и денитрификацией - 70–90 мг/(г·сут).

Окислительная мощность аэротенка (ОМ), г БПК на 1 м<sup>3</sup>/сут, оценивается количеством снятых переработанных загрязнений и определяется по формуле:

$$\text{ОМ} = \frac{(\text{БПК}_5^{\text{пост}} - \text{БПК}_5^{\text{очищ}}) Q}{V} = \frac{\Delta \text{БПК}_5 \cdot 24}{T_{\text{аэр}}}, \text{ г / м}^3 \cdot \text{сут} \quad (5.2)$$

где БПК<sub>5</sub><sup>пост</sup>, БПК<sub>5</sub><sup>очищ</sup> - БПК<sub>5</sub> соответственно в поступающей и очищенной воде, г/м<sup>3</sup>.

Окислительная мощность по БПК<sub>5</sub> для аэротенков на полную биологическую очистку обычно составляет 400-600 г/м<sup>3</sup>·сут.

*Доза или концентрация активного ила по весу* служит ориентировочным показателем того, сколько в иловой смеси потребителей загрязнений. Доза ила для аэротенков на полную биологическую очистку обычно составляет 2,0-3,0 г/л, при очистке с нитрификацией и денитрификацией - 3,0-5,0 г/л.

Хорошее качество ила зависит от *возраста ила* - время пребывания ила в системе. Возраст ила имеет взаимосвязь с технологическими параметрами (нагрузкой на ил, окислительной мощностью и т. д.), и может быть определен с учетом нагрузки по органическим веществам:

$$T = \frac{V \cdot a}{\text{БПК}_{5}^{\text{пост}} \cdot Q}, \text{ сут.} \quad (5.3)$$

Возраст ила для аэротенков на полную биологическую очистку обычно составляет 2,0-4,0 сут, при очистке с нитрификацией и денитрификацией – от 12,0 до 15,0 сут.

Седиментационную способность активного ила характеризует иловый индекс. *Иловый индекс* - объем, мл, приходящийся на 1 г сухого вещества активного ила после 30-минутного отстаивания иловой смеси. 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.

Работа аэрационных сооружений оценивается также такими *энергетическими показателями*, как расход электроэнергии на снятие единицы массы загрязнений, например, кВтч на 1 кг БПК<sub>полн</sub> (или ХПК); расход энергии или воздуха на очистку 1 м<sup>3</sup> сточной воды. Для городских сточных вод при мелкопузырчатой системе аэрации на 1 м<sup>3</sup> воды расходуется 5—10 м<sup>3</sup> воздуха, или 40—60 м<sup>3</sup> на 1 кг снятой БПК<sub>5</sub>.

## **2. Методика проведения работы и обработки опытных данных**

### **1. Экскурсия на Брестские очистные сооружения канализации.**

1.1. Изучить технологическую схему биологической очистки сточных вод в аэротенках с глубоким удалением биогенных элементов. Ознакомиться с последовательностью расположения анаэробных, аноксидных и аэробных зон, их конструктивными размерами. Заполнить таблицу 5.1.

1.2. Изучить систему подачи и распределения воздуха, типы аэраторов, количество воздуха, подаваемого в аэробную зону. Визуально оценить равномерность распределения пузырьков воздуха по площади аэробной зоны.

1.3. Изучить назначение и виды оборудования, установленного в анаэробных и аноксидных зонах.

1.4. Оценить наличие пены на поверхности воды.

1.5. Произвести отбор пробы иловой смеси на выходе из аэротенка.

1.6. Заполнить технологическую карту аэротенков (таблица 5.2) из журнала работы сооружений и лабораторного журнала качественного состава воды на очистных сооружениях.

2. Занятие в лаборатории.

2.1. Определить **дозу активного ила по объему**.

Пробу иловой смеси тщательно перемешать и налить в цилиндр объемом 100 мл. Отметить время, после 30 минут отстаивания в цилиндрах измерить объем, занимаемый отстоявшимся активным илом. Результат отсчета выразить в объемах долях (процентах).

Во время отстаивания оценить цвет активного ила, размеры и плотность хлопка, скорость осаждения, воду над илом.

2.2. Определить **дозу активного ила по массе**.

Через предварительно взвешенный в сушильном шкафу при  $t=105^{\circ}\text{C}$  в течение двух часов и взвешенный с точностью до 0,001 г. фильтр, профильтровать 100 мл пробы иловой смеси. Фильтр с осадком высушить в сушильном шкафу при  $t=105^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы, охладить и взвесить. Дозу ила,  $a$ , г/л, определить по формуле:

$$a = \frac{m_{\text{ос}} - m_{\text{пуст}}}{V}, \text{ г / л,} \quad (5.4)$$

где  $m_{\text{ос}}$ ,  $m_{\text{пуст}}$  – масса фильтра с осадком и пустого соответственно, г;  
 $V$  – объем взятой для фильтрования пробы иловой смеси, л, (0,1 л).

2.3. Определить **иловый индекс**.

Иловый индекс равен объёму активного ила в миллилитрах (мл) после 30 минут отстаивания в цилиндре, отнесенный к 1 г сухого вещества активного ила.

$$I = \frac{V_1}{m_{\text{ос}} - m_{\text{пуст}}}, \text{ см}^3 / \text{г,} \quad (5.5)$$

где  $V_1$  - объём активного ила, мл, после 30 минут отстаивания в цилиндре (пункт 2.1.);

$m_{\text{ос}}$ ,  $m_{\text{пуст}}$  – см. формулу (5.4).

2.4. Определить основные расчетные показатели работы аэротенков по формулам (5.1), (5.2), (5.3).

### 3. Контрольные вопросы

1. Назначение сооружений биологической очистки сточных вод. Сущность метода биологической очистки в системах с активным илом.

2. Что такое нагрузка на ил, окислительная мощность аэротенка, доза активного ила, возраст ила, иловый индекс?

3. В чем заключается методика определения дозы активного ила по объему и по массе?

Таблица 5.1 - Конструктивные параметры аэротенков.

Номер аэротенка	Число секций	Число коридоров	Ширина коридора, м	Длина коридора, м	Рабочая глубина, м	Объем, м <sup>3</sup>	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч
1	2	3	4	5	6	7	8

Таблица 5.2 - Технологическая карта работы аэротенков

Дата	Номер аэротенка	Количество очищаемой сточной воды, м <sup>3</sup> /сут		Продолжительность аэрации, ч		Качество сточной воды, мг/дм <sup>3</sup>										
						поступающей на биологическую очистку					очищенной сточной воды					
		проектн.	фактич.	проектн.	фактич.	БПК <sub>5</sub>	ХПК	Взв. в-ва	Азот общ	Фосфор общ	БПК <sub>5</sub>	ХПК	Взв. в-ва	Азот общ	Фосфор общ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
				-												

Продолжение таблицы 5.2

Доза активного ила, г/л			Растворенный кислород, мг/л			Иловый индекс, см <sup>3</sup> /г	Окислит. мощность, гБПК <sub>5</sub> /м <sup>3</sup> ·сут	Нагрузка на 1 г ила по БПК <sub>5</sub>	Возраст ила, сут	Расход воздуха	
в анаэробной зоне	в аноксидной зоне	в аэроб-аэробной зоне	в анаэробной зоне	в аноксидной зоне	в аэроб-аэробной зоне					на 1 кг снятой БПК <sub>5</sub> , м <sup>3</sup>	на 1 м <sup>3</sup> сточной воды, м <sup>3</sup>
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28

Лабораторная работа 6.  
**ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКТИВНОГО ИЛА**

Цель работы: 1. Промикроскопировать и описать образцы активного ила; назвать преобладающие формы гидробионтов и зарисовать отдельные виды.

2. Сделать заключение о состоянии активного ила и его способности к переработке загрязнений.

### **1. Общие сведения**

Гидробиологический анализ активного ила дополняет технологический контроль качества очистки и работы сооружений биологического комплекса. Под микроскопом видно, что хлопья активного ила состоят в основном из бактериальных клеток. На поверхности хлопьев, между ними или реже внутри них обычно находятся разнообразные простейшие.

Важнейшую роль в очистке сточных вод от органических загрязнений играют бактерии, которые составляют основную часть активного ила. Подавляющее большинство бактерий – одноклеточные организмы, которые могут иметь шаровидную, палочковидную и извитую формы. Кроме одноклеточных бактерий, в активном иле развиваются в небольшом количестве нитчатые бактерии, дрожжи и отдельные нити плесневых грибов, зооглеи.

Микрофауна активного ила представлена в основном одноклеточными – простейшими различных типов, классификация которых основана на способах движения. К простейшим относятся представители саркодовых, бесцветных жгутиковых, а также инфузорий ресничных и сосущих.

Наиболее многочисленный в активном иле класс ресничных инфузурий. Они обладают постоянной формой тела и весьма сложным строением, движутся при помощи ресничек. Делятся на три подкласса: равноресничные – все тело покрыто ресничками; брюхоресничные – на теле реснички расположены неравномерно, имеется околоротовая спираль ресничек; кругоресничные – также имеют околоротовую спираль, но на теле ресниц нет, прикреплены к субстрату при помощи стебелька. Первые два подкласса называются свободноплавающими, а третий – прикрепленными инфузуриями.

В активном иле присутствуют также более сложно организованные представители микрофауны, такие, как коловратки, круглые черви и малощетинковые черви, водные клещи, насекомые и их личинки.

В нормально работающих активных илах можно встретить 60 и более различных видов организмов, но в единичных пробах число видов не превышает 10—15. Из них некоторые виды встречаются наиболее часто, лучше изучены и могут служить индикаторами на условия среды. Основные виды наиболее часто встречающихся гидробионтов изображены на рисунках, приведенных в приложении 1.



**Индикаторные организмы активного ила.** *Нитчатые бактерии* (*кладотрикс* и *сферотиллюс*) часто встречаются в активном иле, особенно в углеводистых стоках. Нитчатые бактерии образуют длинные нити при замедленном течении жидкости и, наоборот, мельчают при сильном механическом перемешивании в сооружениях. Массовые скопления нитчатых в аэротенке вызывают вспухание ила.

*Нитчатые серобактерии*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, встречаются в сточных водах, содержащих сероводород.

*Зооглеи* представляют собой желеобразную массу различной формы и консистенции, в которую вкраплены бактериальные клетки шаровидной и палочковидной формы. Зооглеи встречаются в виде компактных шаровидных скоплений, узких плотных тяжей или древовидно разветвленных лопастей (*Zoogloea ramigera*).

*Корненожки* (или *амебы*), *Arcella vulgaris*, *Pamphagus hyalinus* в хорошо работающем нормальном активном иле встречаются в заметных количествах, также как в нитрифицирующем иле, но отмечалось их присутствие и в плохом иле. *Amoeba radiosa* — присутствует при хорошей работе сооружений.

*Жаутиковые бесцветные*, *Bodo*, *Monas*, *Hexaniitus*, в больших количествах встречаются в перегруженных илах. Единичные экземпляры - в нормально работающем иле.

*Инфузории кругоресничные*, *Opercularia*, почти постоянно присутствуют в созревшем иле. Характерным является состояние ресничной зоны организма: в хорошем иле ресничная зона раскрыта, движения ресничек активные; при неблагоприятных условиях ресничная зона замкнута. При увеличении нагрузки оперкулярия сжимается и инцистируется.

*Vorticella microstoma* развивается в перегруженных илах с недостаточным содержанием растворенного кислорода.

*Epistylis*, *Carchesium* развиваются в заметных количествах в нитрифицирующем иле.

*Vorticella convallaria* — характерные представители хорошего ила, при регенерации встречаются скоплениями; чувствительны к токсичным условиям. При недостатке растворенного кислорода вортицеллы отрываются от стебелька и образуют особую свободно плавающую форму «телотрох» с венчиком ресничек на заднем конце.

*Цисты инфузорий* образуются при неблагоприятных условиях, т. е. при резкой смене состава сточной воды (поступление промышленных стоков) или при недостатке питательных веществ.

*Инфузория брюхоресничная*, *Aspidisca* — распространенная, почти постоянно присутствующая в иле брюхоресничная инфузория. Чаще всего является положительным признаком для оценки качества ила. Вынослива к изменениям условий среды.

*Инфузория равноресничная*, *Paramecium caudatum* — одна из форм, наиболее выносливых к недостатку кислорода; характерна для плохого

ила. Как и другие крупные свободно плавающие инфузории, встречаются при большом количестве бактерий, находящихся во взвешенном состоянии при разложении ила.

*Инфузория сосущая, Podophrya*, находится в условиях недогрузки сооружений, формы, паразитирующие на других инфузориях.

*Круглые черви, Nematoda*, часто находятся на биофильтрах, а на аэротенках встречаются в заметных количествах в недостаточно аэрируемом иле, с зонами залежей. Единичные экземпляры могут быть в нормальном иле аэротенков.

*Малощетинковые черви, Aeolosoma, Nais*, в заметных количествах могут развиваться в илах с устойчивой нитрификацией, при низкой нагрузке, на биофильтрах

*Коловратки (Philodina, Monostyla, Notommata и др.)* находятся в активном состоянии при достаточном обеспечении растворенным кислородом в нитрифицирующем иле, но оказываются в сжатом состоянии при неблагоприятных условиях. Менее чувствительны к токсичным условиям, чем простейшие.

*Водные клещи, Hydracarina*, встречаются на биофильтрах, а в аэротенках — в голодающем иле при низкой нагрузке.

*Личинки насекомых, Psychoda*, обычно находятся на биофильтрах.

*Рачки, Cyclops*, отсутствуют в обычном иле, развиваются в заметных количествах только в голодающем иле, при низкой нагрузке.

**Характеристика илов.** *Удовлетворительно работающий (хороший) ил.* Большое разнообразие простейших по видовому составу при небольшом количественном преобладании какого-либо из видов. Постоянное наличие *Aspidisca, Zoogloea*. Все организмы достаточно подвижны в оживленном состоянии. Плотный компактный хлопок ила, ил быстро оседает в виде крупных тяжелых хлопьев. Вода над илом прозрачная.

*Голодающий ил.* Мелкие размеры простейших, организмы становятся прозрачными, пищеварительные вакуоли их исчезают, частично инфузории превращаются в цисты. Коловратки образуют цисты позже, чем инфузории. Зооглеи и хлопья ила прозрачные. Вода над илом имеет мелкую неоседающую муть.

*Нитрифицирующий ил.* Постоянное присутствие в заметных количествах коловраток, *Philodina, Callidina*, и других видов коловраток. Количественное преобладание прикрепленных инфузорий, *Vorticella convallaria, Carchesium*, крупных амёб, *Arcella*. Возможно присутствие в больших количествах малощетинковых червей, *Aeolosoma*. Ил рыхлый, всплывает после осаждения.

*Перегруженный ил.* Малое качественное разнообразие видов при количественном преобладании двух-трех. Большое количество бесцветных жгутиковых, мелких амёб, *Litonotus*, и других мелких инфузорий. Присутствие иногда в заметных количествах *Podophrya, Chilodon, Vorticella microstoma, Opercularia*. Присутствие иногда нитчатых бактерий

Sphaerotilus и Beggiatoa. Ил загрязнен разнообразными включениями: органические аморфные частицы, мышечные волокна, мусор, остатки кухонных отходов. Хлопки ила темные, плотные. Вода над илом с опалесценцией.

*Ил при сбросе промышленных стоков, неадаптированный.* Уменьшение разнообразия видов, преобладают один-два. Измельчение организмов, особенно *V. convallaria* и *Opercularia* при увеличении их общего количества или при резком уменьшении общего количества в зависимости от степени токсичности стока. Неподвижное состояние ресничек инфузорий; замкнутый ресничный диск *Opercularia*, гибель *Flagellata*, преобладание коловраток и червей. Ил мелкий, загрязнен включениями промышленных стоков, может иметь цветные частицы, осаждаются плохо. Вода над илом мутная.

*Ил при недостатке кислорода.* *Vorticella* раздуваются в виде шара, некоторые лопаются и исчезают. *Opercularia* с замкнутым ресничным диском, неподвижные. Коловратки неподвижные, застывшие в вытянутом состоянии, отмирающие. Большое количество разнообразных жгутиковых. Из инфузорий почти исключительное господство *Paramecium Caudatum*, как очень выносливой формы к недостатку кислорода, способной оживленно плавать в гниющем иле. Хлопки ила распадаются. Вода над илом мутнеет.

*Вспухающий ил.* Массовое развитие нитчатых бактерий и грибов приводит к вытеснению зооглейных скоплений бактерий, к плохому оседанию активного ила и выносу его из вторичного отстойника. Очистка ухудшается. Хотя нитчатые бактерии и грибы являются хорошими минерализаторами, но побочные явления, вызываемые их массовым развитием, снижают эффект очистки.

## **2. Методика проведения работы и обработки опытных данных**

Доставленная из аэрационных сооружений проба иловой смеси наливается в стерильные пробирки в количестве 10–20 мл для отделения активного ила от очищаемой жидкости. После 2–3 минутного отстаивания образцы активного ила подвергаются микроскопированию.

### *Техника микроскопирования проб активного ила*

Пипеткой отбирают 2–3 мл активного ила из пробирки, затем каплю свежего ила наносят на стерильное предметное стекло и покрывают стерильным покровным стеклом. Обычно на одно предметное стекло помещают 2–3 капли ила. Предметное стекло устанавливают на предметный столик микроскопа и просматривают под микроскопом. Рекомендуется просматривать до 10–15 капель.

При микроскопировании активного ила определяют группы, виды или подвиды организмов — индикаторов загрязнения, оценивают их количественные соотношения, физиологическое состояние особей, структуру

ила, наличие зооглей, включение минеральных органических частиц и мусора.

Наиболее часто встречающиеся организмы активного ила представлены в приложении 1. Найденные виды необходимо зарисовать в тетради и подписать.

### *Форма отчетности*

Результаты микроскопирования проб заносятся в тетрадь, в которой отмечаются следующие сведения:

- 1) скорость оседания хлопка (быстро, медленно);
- 2) цвет активного ила (бурый, черный, белесый и т.д.);
- 3) вода над илом (прозрачная, мутная, окрашенная);
- 4) плотность и размер хлопка ила (плотный, раздробленный, крупный, мелкий);
- 5) наличие посторонних включений;
- 6) состав гидробионтов и их рисунки (при выполнении рисунков простейших можно воспользоваться рисунками приложения 1);
- 7) наличие грибов и нитчатых бактерий;
- 8) наличие свободноплавающих бактерий (много, мало);
- 9) преобладающие формы бактерий (мелкие палочки, крупные палочки, спириллы и т.д.).

В заключение необходимо дать оценку состояния активного ила, его способности переработать органические загрязнения.

### **3. Контрольные вопросы**

1. Что такое активный ил, какими сообществами микроорганизмов он представлен?
2. Перечислите индикаторные организмы активного ила.

## Лабораторная работа 7 РЕАГЕНТНАЯ ДЕФОСФОТАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

**Цель работы:** 1. Опытным путем определить оптимальную дозу коагулянтов для дефосфотации сточных вод.

2. Построить графики зависимости  $\Theta = f(D_{\text{реаг}})$ ,  $h = f(D_{\text{реаг}})$ .

### 1. Общие сведения

Основными источниками фосфора в городских сточных водах являются продукты жизнедеятельности людей, синтетические моющие средства, и сточные воды различных промышленных производств, таких как мясокомбинаты, молокозаводы и др.

Основная часть фосфора находится в городских сточных водах в растворенной форме (в виде фосфатов, ортофосфатов и полифосфатов), только порядка 15-20% общего фосфора находится в нерастворенном виде. В поступающих на очистку бытовых водах фосфатов в среднем не более 10 мг/дм<sup>3</sup>. Характерная концентрация общего фосфора в городских сточных водах – примерно 6–12 мг/дм<sup>3</sup>, в том числе доля ортофосфатов доходит до 60–70% общего фосфора.

Растворимый фосфор является основным веществом для развития водорослевого цветения в водных объектах, в большей степени воздействующим на процесс эвтрофирования. Эвтрофикация – рост биологической растительности водоемов, вследствие нарушения баланса питательных веществ. При этом: повышается температура и рН воды, снижается концентрация кислорода в воде, появляются привкусы и запахи, ухудшается цвет воды, чрезмерно развиваются водоросли, преобладают непитательные виды планктона, нарушается жизнедеятельность рыб.

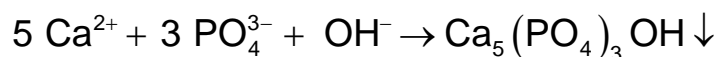
Поэтому удаление растворимых соединений фосфора из сточных вод перед сбросом их в водные объекты является необходимым условием для предотвращения процесса эвтрофикации.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили следующие методы очистки сточных вод от соединений фосфора:

- химический;
- биологический;
- комбинированный (биолого-химический).

Применение метода *химического удаления фосфора* из сточных вод заключается в добавлении реагентов, образовании и осаждении нерастворенных соединений фосфора и вывода их с осадком. В качестве реагентов могут применяться оксид и гидроксид кальция, хлорид железа, сульфат железа, сульфат алюминия и др.

Реакция взаимодействия гидроксида кальция с фосфором имеет следующий вид:



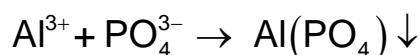
Однако, необходимо иметь в виду, что для реализации данного метода удаления фосфора из сточных вод, рН среды должна находиться в диапазоне 7,5-8,5. При рН=9,0 и более, растворимость фосфатных комплексов увеличивается, что делает неэффективным применение данного метода при высоких значениях рН. Применение соединений кальция для удаления фосфора позволяет во многом избежать проблем с обезвоживанием осадков.

В настоящее время широкое распространение получил метод химического удаления фосфора с помощью солей железа (III):



Молярное соотношение Fe к P - 1:1, таким образом, весовое соотношение  $\text{Fe}^{3+}$  к P равно 1,8:1. В реальных же условиях эксплуатации это соотношение составляет (1,5-2,5):1.

Применение солей алюминия в качестве реагентов для химического удаления фосфора из городских сточных вод описывается следующей реакцией:



Молярное соотношение Al к P - 1:1, таким образом, весовое отношение Al к P в данной реакции составляет 0,87:1. В реальных же условиях эксплуатации это соотношение составляет (3-4):1.

Доза реагента (по металлу)  $X_{\text{Me}}$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывается:

$$X_{\text{Me}} = \beta \cdot \frac{X_{\text{P, Prec}} \cdot \text{AM}_{\text{Me}}}{\text{AM}_{\text{P}}}, \text{мг / дм}^3 \quad (7.1)$$

где  $X_{\text{P, Prec}}$  - количество фосфора, которое необходимо удалить за счет химического осаждения;

$\text{AM}_{\text{Me}}$  - атомная масса металла, входящего в состав реагента, мг/моль, для Al - 27 мг/моль, для Fe – 56 мг/моль;

$\text{AM}_{\text{P}}$  - атомная масса фосфора, мг/моль, принимается 31 мг/моль.

$\beta$ -фактор - коэффициент, учитывающего превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1 моля фосфора, моль/моль, над расчетным стехиометрическим количеством, рассчитанным по формуле (7.1).

Доза реагента (по чистому реагенту)  $D_{\text{реаг}}$ , мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывается:

$$D_{\text{реаг}} = \frac{X_{\text{Me}} \cdot \text{AM}_{\text{реаг.}}}{\text{AM}_{\text{Me}}}, \text{мг / дм}^3 \quad (7.2)$$

где  $\text{AM}_{\text{реаг.}}$  - атомная масса реагента, мг/моль, для сульфата железа (III)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  – 400 мг/моль, для хлорида железа (III)  $\text{FeCl}_3$  - 400 мг/моль, для оксихлорида алюминия  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$  – 174,5 мг/моль, для сульфата алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  – 342 мг/моль.

## 2. Методика проведения работы и обработки опытных данных

1. В исходной сточной воде определить исходную концентрацию фосфатов,  $C_0$ , мг/дм<sup>3</sup>.

Методика определения фосфатов в сточной воде приведена в приложении 2.

2. Рассчитать необходимую дозу реагента для дефосфотации сточной воды без учета  $\beta$ -фактора.

3. Четыре мерных цилиндра емкостью 500 мл заполнить сточной водой.

4. В каждый из цилиндров добавить необходимое количество раствора реагента, при этом в цилиндр № 1 с  $\beta=1$ , цилиндр № 2 -  $\beta=1,5$ , цилиндр № 3 -  $\beta=2,5$ , цилиндр № 4 -  $\beta=3,5$ .

5. Содержимое цилиндров быстро перемешать в течении 30 сек, и далее перемешивать в течении 15 мин с меньшей интенсивностью. При перемешивании наблюдается интенсивное образование хлопьев.

6. После перемешивания цилиндры оставить в покое на 30 минут. За это время завершается процесс коагуляции и седиментации.

7. Измерить высоту слоя осадка в каждом цилиндре,  $h_{ос}$ , см.

8. С середины каждого цилиндра отобрать 10 мл отстоявшейся воды. Определить в каждой пробе остаточную концентрацию фосфатов,  $C$ , мг/дм<sup>3</sup>.

9. Рассчитать эффект очистки сточных вод в каждой пробе,  $\mathcal{E}$ , %. Результаты измерений занести в таблицу 7.1. Построить графики зависимости  $\mathcal{E}=f(D_{реаг})$ ,  $h=f(D_{реаг})$ .

10. Сделать вывод по работе.

Таблица 7.1 - Параметры реагентной дефосфотации сточных вод

Номер цилиндра	1	2	3	4
$\beta$ -фактор				
Доза реагента, $D_{реаг}$ , мг/дм <sup>3</sup>				
Исходная концентрация фосфатов, $C_0$ , мг/дм <sup>3</sup>				
Остаточная концентрацию фосфатов, $C$ , мг/дм <sup>3</sup>				
Высота слоя осадка, $h_{ос}$ , см				
Эффект очистки, $\mathcal{E}$ , %				

## 3. Контрольные вопросы

1. В каких формах присутствует фосфор в сточных водах?

2. Почему необходимо удалять фосфор из сточных вод перед сбросом в водный объект?

3. Перечислите методы очистки сточных вод от соединений фосфора.

4. Какие реагенты применяются для дефосфотации сточных вод?

## 4. ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Осадки сточных вод - это загрязнения, осевшие в первичных отстойниках, а также преобразованные в активный ил или биопленку и осевшие во вторичных отстойниках.

Удаляемый из отстойников осадок представляют собой студенистую, вязкую суспензию со слабнокислой реакцией, обычно темно-серого цвета. Влажность осадка 93-95%, содержание песка в осадке обычно составляет не более 5-8%. Органические вещества (беззольность) в осадке составляют 65-75%, минеральные (зольность) – 25-35%. Органические вещества способны загнивать, выделять неприятные запахи. Осадок обильно заражен яйцами глистов и патогенной микрофлорой, что требует их специальной обработки – обезвреживания.

Активный ил, задерживаемый вторичными отстойниками после аэротенков, представляет биоценоз микроорганизмов и простейших, обладает свойством флокуляции. Структура активного ила представляет хлопьевидную массу бурого цвета. По фракционному составу активный ил состоит на 98% по массе из частиц размерами меньше 1 мм. Активный ил аэротенков отличается высокой влажностью 99,2-99,7%. Органическая часть активного ила (беззольность) - 70-75%, минеральная (зольность) – 25-30%.

Разложение органических веществ осадков осуществляется биохимическим путем в аэробных или анаэробных условиях.

В осадках содержится большое количество воды. Поэтому важным моментом является снижение влажности. Процессы снижения влажности до 70-80% называется обезвоживанием, а до 5-40% – сушкой осадка.

### Лабораторная работа 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ОСАДКА

**Цель работы:** Ознакомится с методикой определения основных свойств осадка: влажности гигроскопической влажности, общей влажности, зольности, содержания беззольного вещества, плотности, концентрации осадка по сухому веществу, удельному сопротивлению осадка.

#### 1. Общие сведения

Осадок, образующийся в процессе очистки сточных вод, характеризуется различным составом и свойствами, которые в свою очередь зависят от конкретных условий образования сточных вод, от метода очистки и условий эксплуатации очистных сооружений.

Основными свойствам, которые в достаточной мере характеризуют осадок, являются: влажность, зольность, содержание беззольного вещества, плотность, концентрация сухого вещества и удельное сопротивление.



## 2. Методика проведения работы и обработки опытных данных

### Влажность. Определяют ускоренным методом.

В выпарительную фарфоровую чашку, предварительно высушенную до постоянного веса, прокаленную и взвешенную с точностью до 0,0001 г, наливают 10 мл осадка. После этого чашку взвешивают и ставят сушиться между двумя электрическими лампами мощностью по 200 Вт каждая. Лампы снабжены отражателями конической формы, выполненными из белой жести и закрепленными на штативах. Между лампами помещают асбестовую сетку, на которую ставят чашку с навеской и сушат в течение 15 минут. После этого чашку снимают и покрывают часовым стеклом. При конденсации влаги на стекле навеску сушат еще в течение 2 минут и проверяют снова. Сушку ведут до момента, когда на стекле не будет конденсироваться влага. Полученный осадок называется воздушно-сухим. По окончании сушки пробу охлаждают под стеклом и взвешивают.

Влажность осадка рассчитывают по формуле:

$$P_1 = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100, \% \quad (8.1)$$

где  $m_1$ —масса пустой чашки, г

$m_2$ — масса чашки с сырым осадком, г;

$m_3$  – масса чашки с осадком после сушки лампами, г.

**Гигроскопическая влажность.** Определяется сушкой воздушно-сухого осадка до постоянного веса.

Чашку с воздушно-сухим осадком (после сушки под лампами) переносят в сушильный шкаф и сушат при  $= 105^\circ\text{C}$  до постоянного веса. По окончании сушки чашку охлаждают в эксикаторе и взвешивают с точностью до 0,0001 г.

Расчет гигроскопической влажности осадка ведут по формуле:

$$P_2 = \frac{m_3 - m_4}{m_3 - m_1} \cdot 100, \% \quad (8.2)$$

где  $m_4$  - масса чашки с осадком после сушки в сушильном шкафу, г.

**Общая влажность.** Выражает отношение массы воды к общей массе сырого осадка. Рассчитывается по формуле:

$$P_3 = \frac{m_2 - m_4}{m_2 - m_1} \cdot 100, \% \quad (8.3)$$

**Зольность.** Определяют путем прокаливания в муфельной печи при температуре  $600-700^\circ\text{C}$  абсолютно-сухой навески осадка. Характеризуют содержание минеральных веществ осадка.

Чашку с навеской абсолютно-сухого осадка (после сушки в сушильном шкафу) помещают в муфельную печь и прокаливают при температуре  $600-700^\circ\text{C}$  до постоянного веса (обычно в течении 20 мин). После этого тигель охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.

Зольность осадка определяется по формуле:

$$З = \frac{m_5 - m_1}{m_4 - m_1} \cdot 100, \% \quad (8.4)$$

где  $m_5$  – масса чашки с прокаленным осадком, г.

Озоление ведут осторожно, чтобы осадок частично не улетел с газами, образующимися при сгорании пробы. Для этого сначала осадок прокаливают на электроплитке и чашку прикрывают крышкой.

**Содержание беззольного вещества.** Характеризует содержание органических веществ в осадке. Определяют по формуле:

$$Б = 100 - З, \% \quad (8.5)$$

**Плотность.** Характеризует массу единицы его объема и выражается отношением всех составных компонентов осадка к его объему:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ г / м}^3 \quad (8.6)$$

где  $V$  - объем осадка, мл.

**Концентрация осадка по сухому веществу.** Суспензии, к которым относится осадок сточных вод, характеризуются также концентрацией находящихся в них веществ. Количество находящихся в  $1 \text{ м}^3$  осадка твердых частиц сухого или растворенного вещества, г/л, называется его концентрацией и выражается зависимостью:

$$К = \frac{(m_4 - m_1) \cdot 1000}{V}, \text{ г / л} \quad (8.7)$$

**Удельное сопротивление осадка.** Является обобщающим показателем влаagoотдачи осадков (их фильтруемости).

Удельное сопротивление представляет собой сопротивление единицы массы твердой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна единице. Удельное сопротивление осадка определяют опытным путем и вычисляют по формуле:

$$r = \frac{2 \cdot P \cdot F^2}{\eta \cdot K} \cdot b, \text{ см / г} \quad (8.8)$$

где  $P$  - вакуум, при котором происходит фильтрация, г/см см<sup>2</sup>;

$F$  – площадь фильтра, см<sup>2</sup>;

$\eta$  – вязкость фильтрата, (для воды 0,01);

$K$  – концентрация сухого вещества осадка, г/см<sup>3</sup>;

$b$  – параметр, получаемый опытным путем, с/см<sup>6</sup>.

(Для перевода размерности давления: 1 мм. рт. ст. соответствует 1328,87 г/см·с<sup>2</sup>).

Удельное сопротивление осадков сточных вод колеблется от  $3 \cdot 10^{10}$  до  $100 \cdot 10^{12}$  см/г.

Методика проведения работы. Установка для моделирования процесса вакуум-фильтрования представлена на рис. 8.1

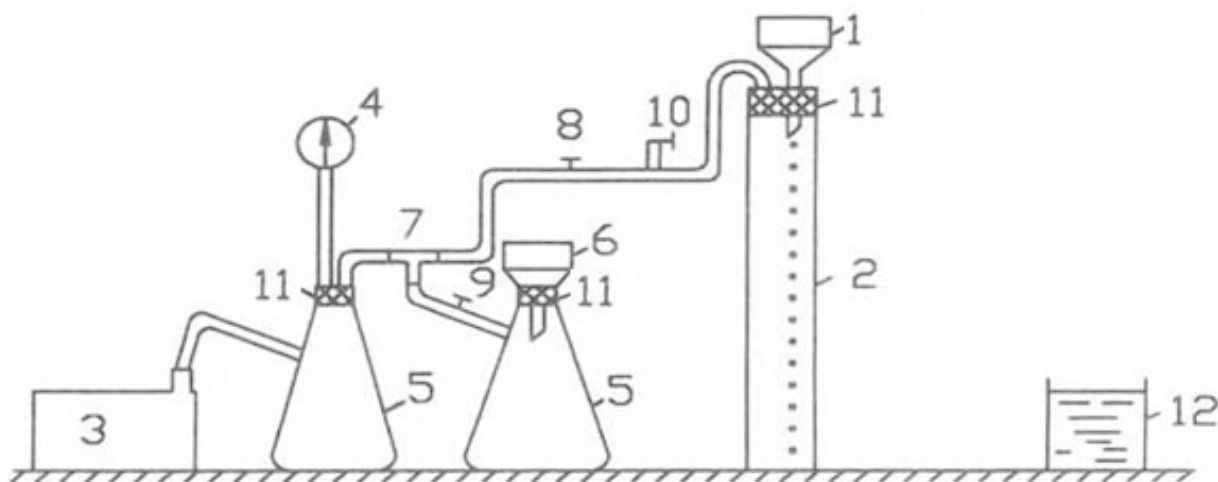


Рисунок 8.1. – Схема лабораторной установки для определения удельного сопротивления осадка

1 - воронка Бюхнера, 2 - мерный цилиндр, 3 - вакуумный насос, 4 - вакуумметр, 5 - колба Бунзена, 6 - воронка Бюхнера, 7 - тройник, 8, 9, и 10 - запорные краны, 11 - резиновые, геометрически заделанные пробки, 12 - стакан с осадком.

На дно воронки Бюхнера 1 укладывают фильтровальную ткань, вырезанную по диаметру воронки, и присасывают ее вакуум-насосом 3 при открытом запорном кране 8 и закрытом кране 9. Создают заданное разряжение в системе в пределах 400-500 мм. рт. ст. Затем в воронку наливают 100 мл осадка. Доводят осторожно вакуум до требуемой величины, регулируя его запорным краном 10, и включают секундомер. Резко повышать вакуум не следует, т.к., это может привести к спрессовыванию кека и, следовательно, увеличению удельного сопротивления. Дальнейшее фильтрование проводят при постоянном вакууме. Количество образующегося фильтрата замеряют в цилиндре 2 через каждые 30-120 с. (30 с. для скоагулированных осадков).

Продолжительность фильтрации зависит от скорости отдачи воды. Надо стремиться получить большое количество отсчетов, но не следует вести фильтроцикл более 20 минут.

Результаты замеров записывают в виде, представленном в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Основные параметры для определения удельного сопротивления осадка

T, с	$V_i, \text{см}^3$	$V=V_i-V_0$	T/V	T, с	$V_i, \text{см}^3$	$V=V_i-V_0$	T/V
0	60	-	-	240	97	37	6,5
60	76	16	3,74	300	102	42	7,15
120	85	25	4,9	360	106	46	7,84
180	91	31	5,81	420	111	51	8,23

Примечание: T - время фильтрации,  $V_0$  - начальный объем фильтрата ( $60 \text{ см}^3$ ),  $V_i$  - последующие объемы фильтрата.

Расчет удельного сопротивления ведут по формуле (8.7).

Концентрация сухого вещества  $K$  в этой формуле определяется по методики, описанной выше.

Коэффициент  $b$  можно определить по графику, построенному в координатах:  $x = V$ ;  $y = t/V$  и схематично изображенному на рисунке 8.2.

В этом случае  $b$  представляет собой тангенс угла наклона прямой к абсциссе.

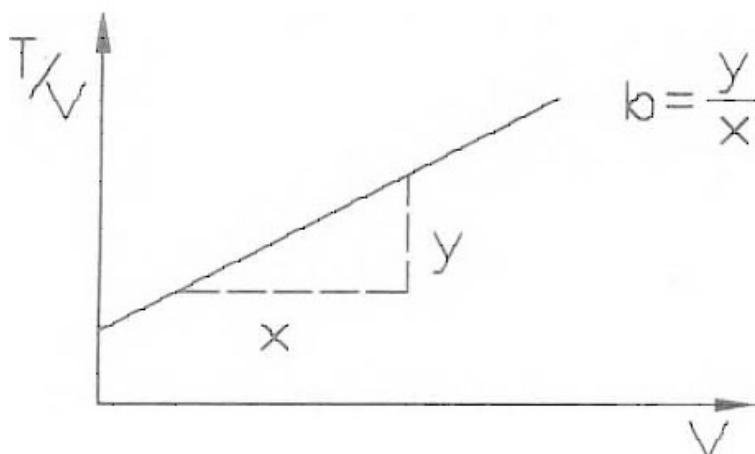


Рисунок 8.2 - График для определения коэффициента  $b$ .

Полученные данные сравниваются с литературными данными. Делается вывод по работе.

### 3. Контрольные вопросы:

1. Как определяется общая влажность осадка?
2. Что такое зольность и содержание беззольного вещества?
2. В чем заключается методика определения удельного сопротивления осадка?

### Лабораторная работа 9

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ НА МОДЕЛИ ЦЕНТРИФУГИ

**Цель работы:** 1. Ознакомится с методом обезвоживания осадка центрифугированием.

2. Изучить методику определения индекса центрифугирования.

### 1. Общие сведения

Для анализа процесса гравитационного разделения суспензий применяется формула Стокса:

$$R = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot u \quad (9.1)$$

где  $R$  – сила сопротивления движению частиц, кгс;

$\mu$  – динамическая вязкость дисперсной среды, кгс/м<sup>2</sup>;

$d$  – эквивалентный диаметр частиц, м;

$u$  – скорость движения частиц в радиальном направлении, м/с.

При оседании частиц в центробежном поле его сила  $P$ , кгс, определяется по формуле:

$$P = V \cdot (\rho - \rho_1) \cdot g \cdot \Phi \quad (9.2)$$

где  $V$  – объем оседающей частицы;

$\rho$ ,  $\rho_1$  – плотность соответственно твердой и жидкой фаз исходной суспензии;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\Phi$  – фактор разделения, показывающий во сколько раз центробежное ускорение в роторе центрифуги больше ускорения свободного падения.

В центробежном поле  $P=R$ , и поэтому:

$$V \cdot (\rho - \rho_1) \cdot g \cdot \Phi = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot U_c \quad (9.3)$$

Выразив объем частицы через диаметр  $d$ , получается

$$U_c = \frac{\Phi \cdot g}{18 \cdot \mu} \cdot (\rho - \rho_1) \cdot d^2 \quad (9.4)$$

Т.к.

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (9.5)$$

$$U_c = \frac{\Phi}{18 \cdot \mu} \cdot (\gamma - \gamma_1) \cdot d^2 \quad (9.6)$$

где  $\gamma$  и  $\gamma_1$  – объемный вес, соответственно твердых частиц и дисперсной среды.

Разделяющий фактор  $\Phi$  определяют по формуле

$$\Phi = \frac{\omega^2 \cdot R}{g} \quad (9.7)$$

## 2. Методика проведения работы и обработки опытных данных

2.1. По методикам, изложенным в работе №8, определяют влажность и зольность исходных осадков.

В фарфоровую чашку или тигель помещают определенный объем осадка (50-100 мл) и взвешивают. Отобранные пробы осадка обезвоживают на водяной бане, а затем сушат в сушильном шкафу

Влажность осадка определится по формуле:

$$P_{\text{исх}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \% \quad (9.8)$$

где  $m_1$  – масса пробы осадка исходной влажности, г;

$m_2$  – масса высушенной пробы осадка, г.

Зольность осадков определяют после прокаливании проб в муфельной печи:

$$z_{\text{исх}} = \frac{m_3 - m_1}{m_1} \cdot 100, \% \quad (9.9)$$

где  $m_3$  – масса прокаленного осадка, г.

Концентрация сухого вещества в исходном осадке:

$$K = \frac{m_2}{V_1} \quad (9.10)$$

где  $V_1$  – объем пробы исходного осадка,  $\text{см}^3$ .

Удельный вес осадка:

$$\gamma = \frac{m_1}{V_1} \quad (9.11)$$

## 2.2. Определения индекса центрифугирования.

Центрифугирование осадка производят на лабораторной пробирочной центрифуге при  $\Phi=5600$  в течение 120 с. Радиус ротора  $R$ , м, определяют замером.

По формуле (9.11) находят число оборотов ротора в 1 минуту,  $n$ :

$$\Phi = \frac{n^2 \cdot R}{900} \quad (9.12)$$

В калиброванные и пронумерованные пробирки наливают различные осадки объемом  $V_1$  и помещают в центрифугу. После центрифугирования измеряют высоту слоя фугата  $h$ , см, объем уплотненного в пробирках кека  $V_k$ ,  $\text{см}^3$ .

По формуле (9.12) вычисляют индекс центрифугирования:

$$I = \frac{V_k}{C_{\text{исх}} \cdot V} \quad (9.13)$$

Полученное значение  $I$  указывает на способность осадков к разделению в центробежном поле. Чем ниже индекс центрифугирования, тем эффективнее процесс центрифугирования. Путем сравнения значений  $I$  и исходных характеристик осадков устанавливают влияние свойств осадка на их способность к центрифугированию.

Результаты измерений и определений параметров при центрифугировании осадков заносят в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Результаты измерений и определений параметров при центрифугировании осадка

№ опыта	Характеристика исходных осадков					Параметры центрифугирования			
	Объем пробы, $V_1$ , $\text{см}^3$	Влажность, $P_{\text{исх}}$ , %	Зольность, $Z_{\text{исх}}$ , %	Концентрация сухого вещества $K_{\text{исх}}$ , г/см <sup>3</sup>	Объемный вес, $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Число оборотов ротора, об/мин	Высота фугата, $h$ , см	Объем уплотненного кека, $V_k$ , $\text{см}^3$	Индекс центрифугирования, $I$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Полученные данные анализируют и делают вывод по работе.

### 3. Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность обезвоживания осадка центрифугированием?
2. Что такое кек и фугат?
3. Что такое фактор разделения?
4. Как определить индекс центрифугирования?

#### Лабораторная работа 10

### КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД РЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ

**Цель работы:** 1. Произвести кондиционирование сырого осадка реagentным методом и опытным путем определить удельное сопротивление и индекс центрифугирования кондиционированных осадков.

2. Сравнить и проанализировать полученные данные (по сравнению с некондиционированным осадком).

#### 1. Общие сведения

Для интенсификации процесса отделения воды осадки перед обезвоживанием подвергают предварительной обработке - кондиционированию. К методам кондиционирования относятся: промывка осадка водой, обработка его химическими реагентами, замораживание с последующим оттаиванием, тепловая обработка. Наиболее распространенным способом является обработка осадков сточных вод реагентами.

В качестве реагентов при коагулировании осадков городских сточных вод следует применять хлорное железо или сернокислое окисное железо и известь в виде 10%-ных растворов. Количество реагента следует определять по  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{CaO}$ . При этом их дозы надлежит применять для сырого осадка первичных отстойников:  $\text{FeCl}_3$  1,5-3%,  $\text{CaO}$  – 6-10% к массе сухого вещества осадка, доза  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  увеличивается по сравнению с дозой  $\text{FeCl}_3$  на 30-40%.

Количество добавляемого к осадку реагента определяется по формуле:

$$D = \frac{V_{\text{общ.}} \cdot (100 - P) \cdot D_p \cdot 100}{100 \cdot 100 \cdot C \cdot V}, \text{ мл} \quad (10.1)$$

где  $V_{\text{общ.}}$  – общий объем сырого осадка, мл;

$P$  – влажность сырого осадка, %;

$D_p$  – доза реагента, в % к массе сухого вещества осадка;

$C$  – содержание чистого реагента в товарном продукте: для  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  – 0,3, для  $\text{FeCl}_3$  – 0,6, для  $\text{CaO}$  – 0,7;

$V$  – концентрация раствора реагента, %, для  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  – 10, для  $\text{FeCl}_3$  – 10, для  $\text{CaO}$  – 10.

*Пример расчета.*

Количество добавляемого к осадку реагента  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ :

$$D_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{50 \cdot (100 - 95,6) \cdot 4,2 \cdot 100}{100 \cdot 100 \cdot 0,3 \cdot 10} = 3,1 \text{ мл.}$$

Количество добавляемого к осадку реагента  $\text{FeCl}_3$ :

$$D_{\text{FeCl}_3} = \frac{50 \cdot (100 - 95,6) \cdot 3 \cdot 100}{100 \cdot 100 \cdot 0,6 \cdot 10} = 1,1 \text{ мл.}$$

Количество добавляемого к осадку реагента  $\text{CaO}$ :

$$D_{\text{CaO}} = \frac{50 \cdot (100 - 95,6) \cdot 10 \cdot 100}{100 \cdot 100 \cdot 0,7 \cdot 10} = 3,1 \text{ мл.}$$

В качестве реагентов для улучшения водоотдающих свойств осадков сточных вод следует использовать флокулянты. Доза высокомолекулярных флокулянтов катионного типа — от 4 до 15 кг/т сухого вещества осадка.

Флокулянт ПАА катионно-анионного типа представляет собой сополимер акриламида и солей акриловой кислоты. Технический полиакриламид — прозрачный, бесцветный, вязкий и тягучий гель, содержащий 7-9 % полимера, поставляется и транспортируется в деревянных бочках емкостью нетто 100-150 кг.

Количество добавляемого к осадку флокулянта определяется по формуле:

$$D_{\text{фл.}} = \frac{V_{\text{общ.}} \cdot (100 - P) \cdot D_{\text{фл.}}}{1000 \cdot 100 \cdot C \cdot B}, \text{ мл} \quad (10.2)$$

где  $V_{\text{общ.}}$  — общий объем сырого осадка, мл;

$P$  — влажность сырого осадка, %;

$D_{\text{фл.}}$  — доза реагента, кг/т сухого вещества осадка;

$C$  — содержание чистого реагента в товарном продукте, для ПАА — 0,07;

$B$  — концентрация раствора реагента, %, для ПАА — 0,1.

*Пример расчета.*

Количество добавляемого к осадку флокулянта ПАА:

$$D_{\text{ПАА}} = \frac{50 \cdot (100 - 95,6) \cdot 10}{1000 \cdot 100 \cdot 0,07 \cdot 0,1} = 3,1 \text{ мл.}$$

Вид применяемого реагента зависит от типа используемого оборудования для механического обезвоживания осадка. Кондиционирование осадка хлорным железом или серноокислым окисным железом и известью применяют перед обезвоживанием на вакуум-фмльтрах, камерных и мембранных фильтр-прессах. Флокулянты применяют при обезвоживания осадка на ленточных, мембранных фильтр-прессах, центрифугах и центрипрессах.

## 2. Методика проведения работы и обработки опытных данных

2.1. Определения удельного сопротивления скоагулированного осадка.

Удельное сопротивление скоагулированного осадка определяется по методике, приведенной в лабораторной работе 8. В качестве реагентов используют растворы  $\text{FeCl}_3$  (или  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) и  $\text{CaO}$ . Дозы реагентов при-



нимают в % от концентрации сухого вещества осадка соответственно равными 3% и 9%, 4% и 12%, 5% и 15%. Прежде чем проводить опыт к осадку последовательно добавляют рассчитанное количество растворов реагентов: сначала 10% раствор  $FeCl_3$  (или  $Fe_2(SO_4)_3$ ) и затем  $CaO$  в виде 10% известкового молока.

В результате реагентной обработки удельное сопротивление осадка значительно снижается и осадок легко отдает воду.

При проведении опытов отмечают продолжительность фильтроцикла.

2.2. Определения индекса центрифугирования скоагулированного осадка.

Индекс центрифугирования скоагулированного осадка определяется по методике, описанной в лабораторной работе 9.

При использовании в качестве реагентов  $FeCl_3$  (или  $Fe_2(SO_4)_3$ ) и  $CaO$ , их дозы принимают в % от концентрации сухого вещества осадка, такими же, как при определении удельного сопротивления фильтрации.

При использовании в качестве реагента флокулянта ПАА, к пробе осадка добавляется рассчитанное количество раствора флокулянта ПАА, из расчета 5, 10 и 15 кг/т сухого вещества осадка.

В результате реагентной обработки индекс центрифугирования осадка значительно снижается и повышается эффективность центрифугирования.

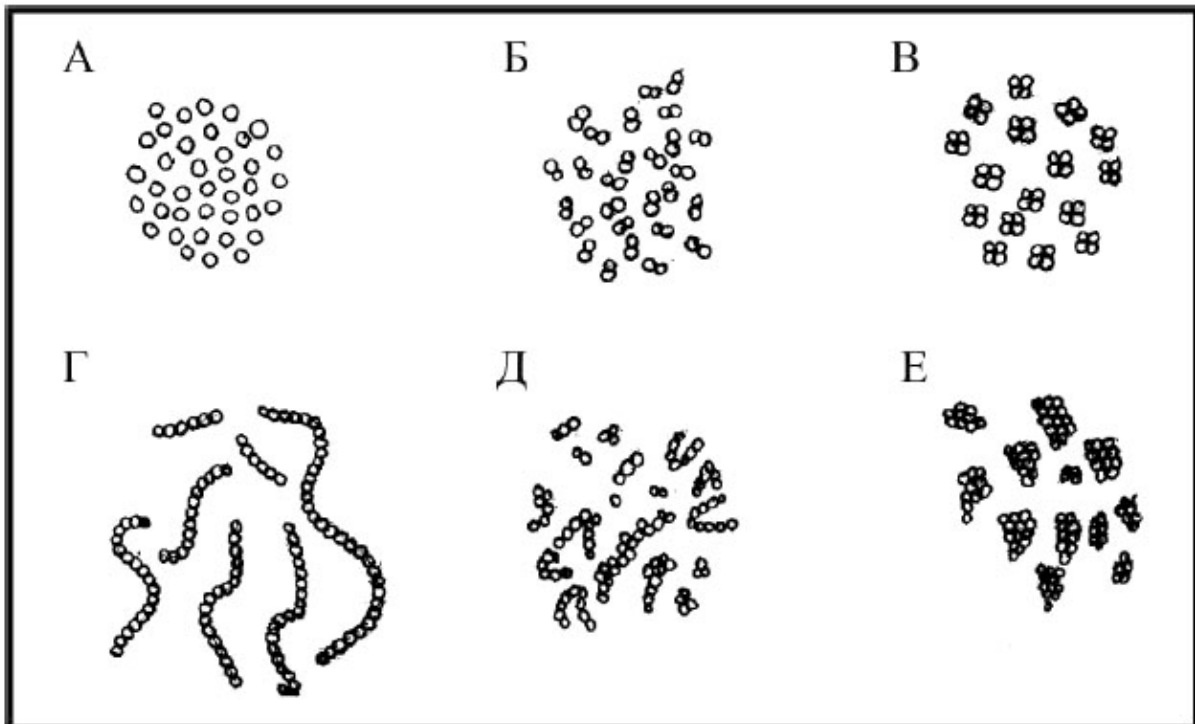
Таблица 10.1 – Результаты измерений и определений параметров центрифугирования

Дозы реагентов		Число оборотов ротора, об/мин	Параметры центрифугирования до кондиционирования			Параметры центрифугирования после кондиционирования		
сернокислого железа	известкового раствора		Высота фугата, h, см	Объем уплотненного кека, $V_k$ , см <sup>3</sup>	Индекс центрифугирования, I	Высота фугата, h, см	Объем уплотненного кека, $V_k$ , см <sup>3</sup>	Индекс центрифугирования, I
флокулянта								

### 3. Контрольные вопросы

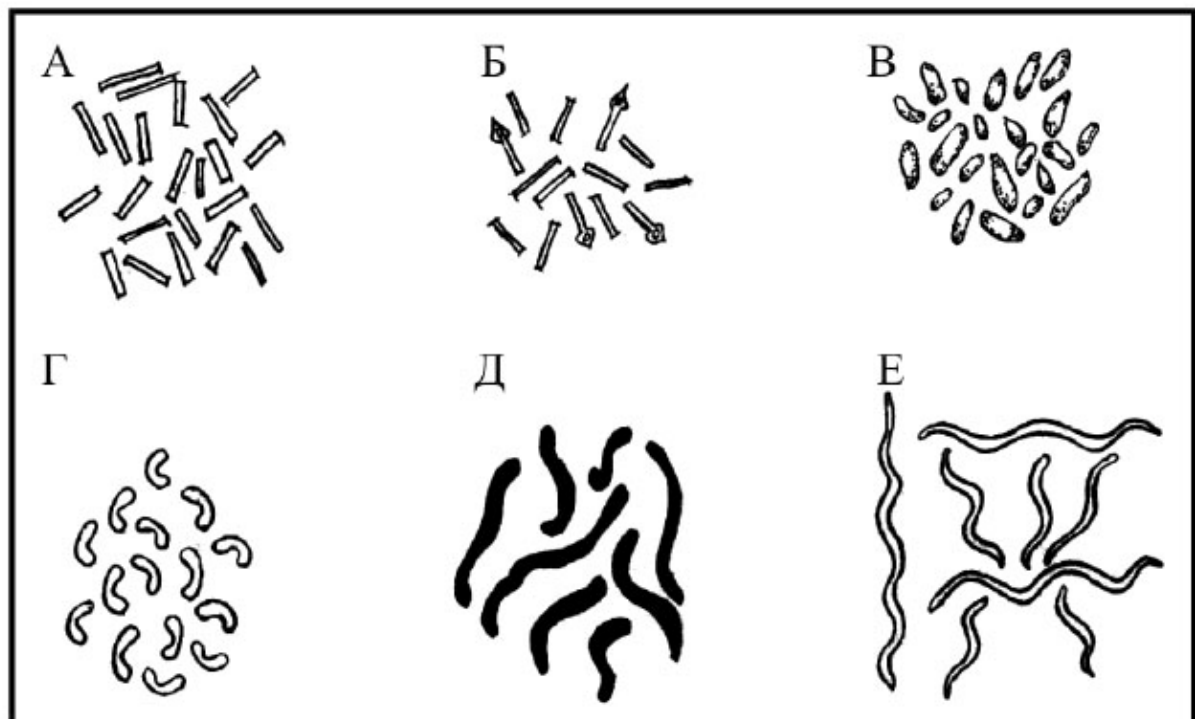
1. Что такое процесс кондиционирования осадка сточных вод?
2. Какие реагенты используются при кондиционировании осадка сточных вод?

**ИНДИКАТОРНЫЕ ПРОСТЕЙШИЕ АКТИВНОГО ИЛА**



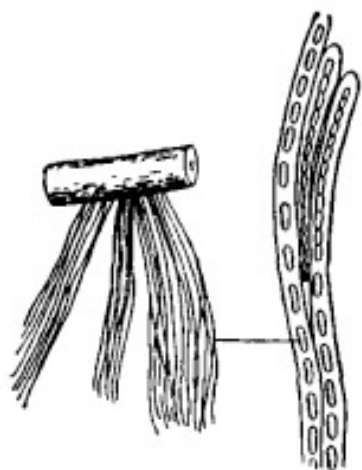
Шаровидные формы бактерий:

А – микрококки; Б – дилококки; В – тетракокки; Г – стрептококки;  
 Д – стафилококки; Е – сарцины

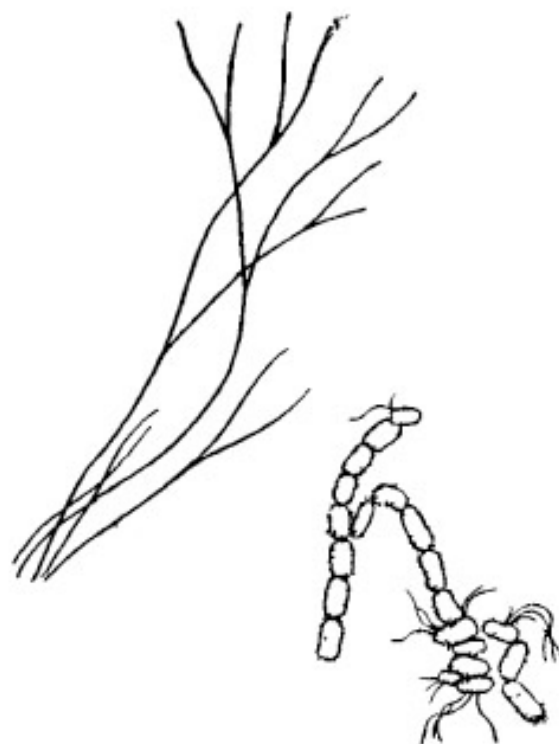


Палочковидные и извитые формы бактерий:

А – неспоровая палочка; Б, В – споровая палочка; Г – вибрионы;  
 Д – спириллы; Е – спирохеты



*Sphaerotilus natans*  
Нитчатые бактерии



*Cladothrix dichotoma*. Нитчатые бактерии.  
Толщина нити 3—10 мкм



*Beggiatoa alba*. Серобактерии

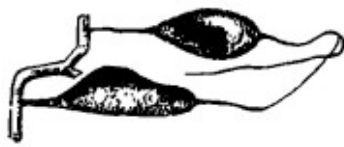


*Thiothrix nivea*. Серобактерии.  
Толщина нитей 3—4 мкм

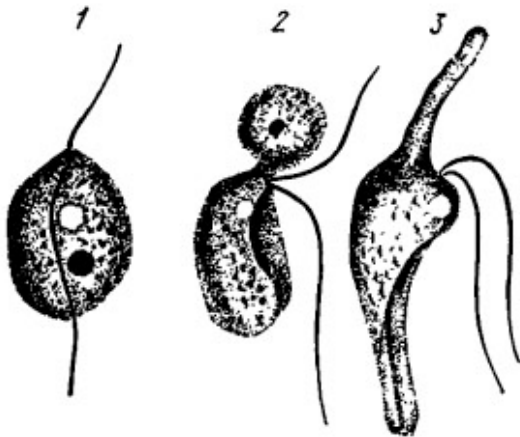


*Zoogloea ramifera*

Зооглея



*Oicomonas mutabilis*.  
Длина 17 мкм  
Жгутиковые



*Bodo globosus* 13—22 мкм (1), *B. edax* (2),  
*B. caudatus* (3)  
Жгутиковые



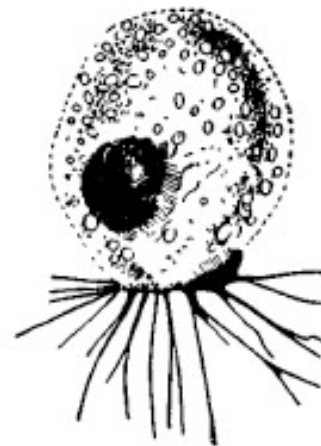
*Amoeba proteus*  
200—1100 мкм

*Amoeba limax*  
10—15 мкм

Голые корненожки (амебы)

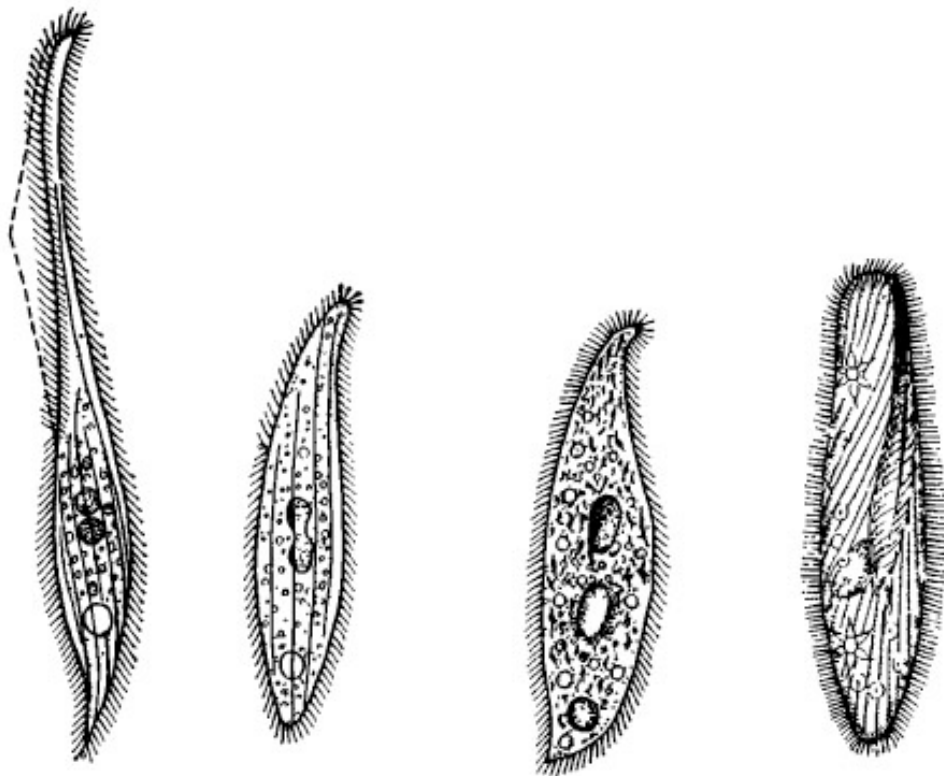


*Arcella vulgaris*  
48—150 мкм



*Pamphagus hyalinus* 30—40 мкм

Раковичные корненожки (амебы)



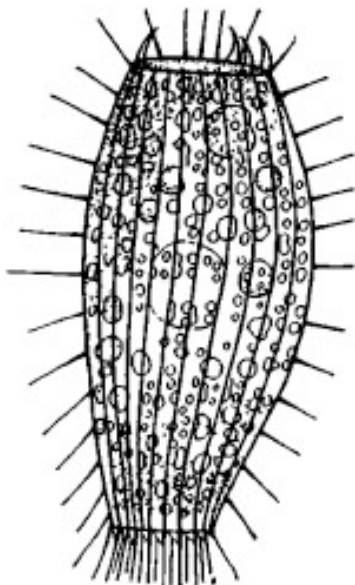
*Litonotus anser*  
400—1000 мкм

*Litonotus lamella*  
60—90 мкм

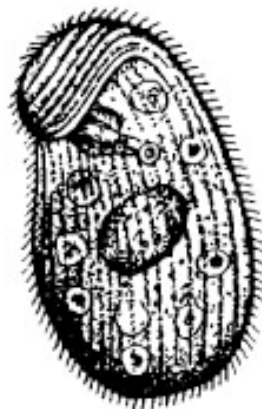
*Amphileptus carchesii*  
160 мкм

*Paramecium caudatum*  
120—330 мкм

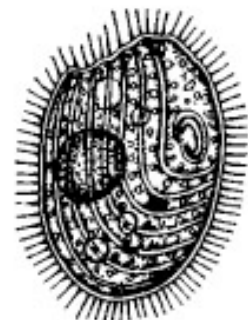
Инфузории равноресничные



*Coleps uncinatus*  
60 мкм

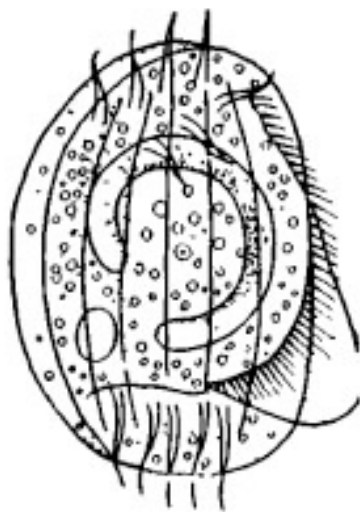


*Colpidium colpoda*  
90—120 мкм

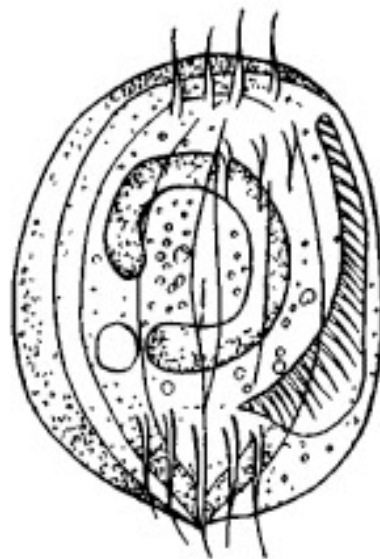


*Cinetochilum margaritaceum*  
30—45 мкм

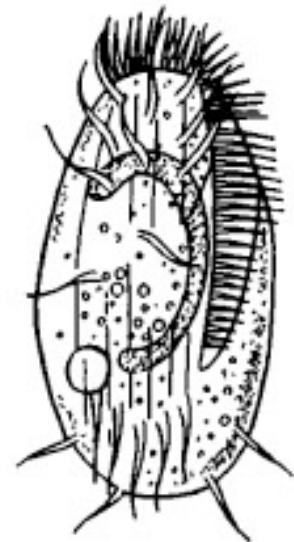
Инфузории равноресничные



*Aspidisca costata*  
30—40 мкм

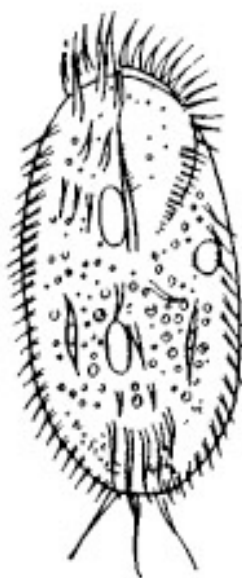


*Aspidisca turrida*  
20—28 мкм

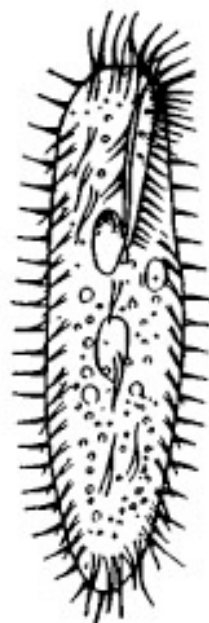


*Euplotes haron*  
80 мкм

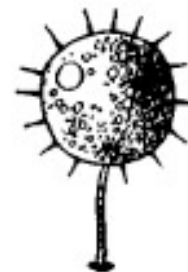
Инфузории спиралересничные



*Stylonychia*  
*pustulata*  
180—220 мкм



*Oxytricha*  
*pellionella*  
80—100 мкм



*Podophrya*  
*fixa*  
10—28 мкм

Инфузории спиралересничные

Инфузория сосущая



*Vorticella  
microstoma*  
60—110 мкм

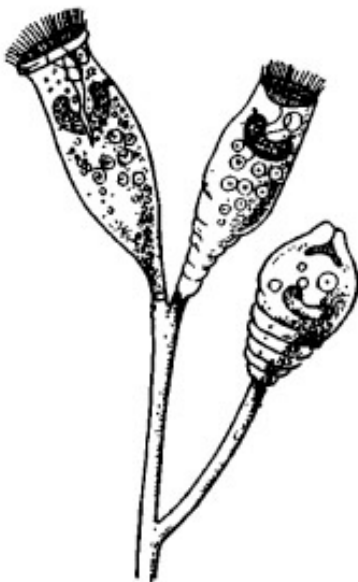


*Vorticella  
convallaria*  
60—120 мкм

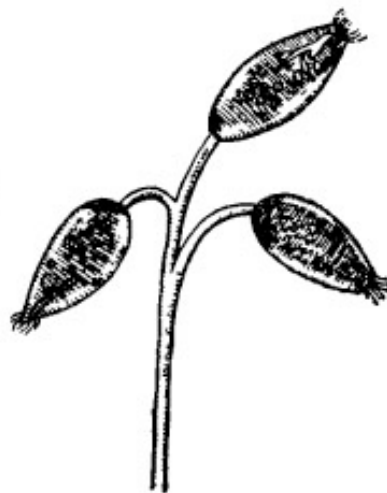


*Carchesium  
spectabile*  
90—110 мкм

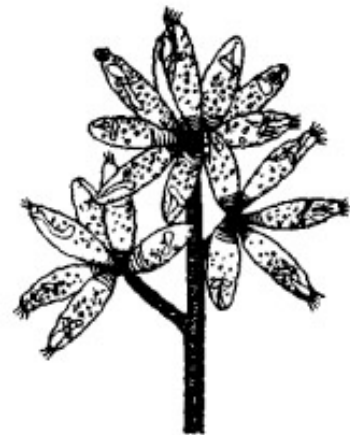
Инфузории кругоресничные



*Epistylis plicatilis*  
80—120 мкм

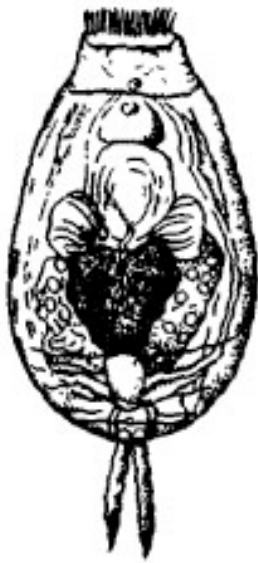


*Opercularia coarctata*  
60 мкм

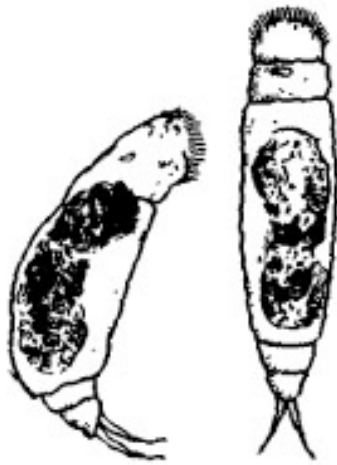


*Opercularia glomerata.*  
Колония 450 мкм

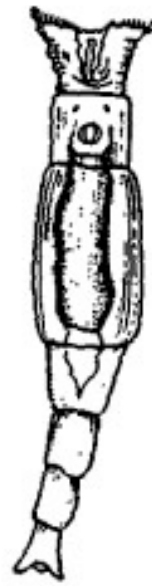
Инфузории кругоресничные



*Cathypna  
luna*  
200 мкм



*Notommata  
ansata*  
200 мкм

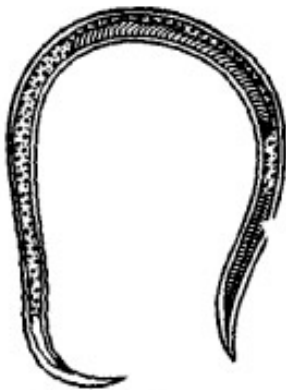


*Philodina  
roseola*  
200 мкм



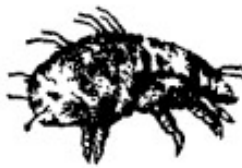
*Callidina  
vorax*  
400 мкм

### Коловратки



*Nematoda*  
5—10 мм

Круглый червь



*Hydracarina*  
5—7 мм

Водный клещ



*Psychoda*  
10—20 мм

Личинка  
насекомого



*Podura*  
1—1,5 мм

Насекомое



## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОСФАТОВ

*Аппаратура:* спектрофотометр SP-830 plus.

*Подготовка к работе.* После включения дать прибору прогреться в течение 30 минут. Нажатием «100», «010» и «001» установить длину волны  $\lambda$  (нм), нажатием «A/T/C» выбрать режим A (абсорбции света).

*Измерение оптической плотности.* Вставить кювету с холостой пробой в кюветодержатель и закрыть крышку кюветного отделения, нажать «BLANK». Заменить кювету с холостой пробой на кювету с измеряемым образцом, закрыть крышку. На дисплее снять показания в единицах оптической плотности.

*Реактивы:*

Аммоний молибденовокислый по ГОСТ 3765, х. ч.

Калий фосфорнокислый однозамещенный по ГОСТ 4198, х. ч.

Кислота соляная по ГОСТ 3118, х. ч.

Кислота серная по ГОСТ 4204, х. ч.

Олово двухлористое, х. ч.

*Построение калибровочного графика.* В мерные колбы вместимостью 50 см<sup>3</sup> каждая вносят пипеткой 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0 см<sup>3</sup> рабочего раствора фосфорнокислого калия и доводят объем раствора до метки дистиллированной водой. Содержание ортофосфатов в градуировочных растворах будет соответственно равно: 0,0; 0,010; 0,020; 0,040; 0,10; 0,20; 0,40 мг/дм<sup>3</sup>. В каждую колбу добавляют пипеткой или дозатором 1 см<sup>3</sup> кислого раствора молибденовокислого аммония, перемешивают, через 5 мин микропипеткой (или дозатором) вносят 0,1 см<sup>3</sup> рабочего раствора двухлористого олова и снова перемешивают. Приготовленные градуировочные растворы выдерживают 10-15 мин, после чего проводят измерения оптической плотности. Градуировочный раствор, не содержащий фосфорнокислого калия (с массовой концентрацией фосфорнокислого калия, равной нулю), является холостой пробой для градуировки.

Измеряют оптическую плотность подготовленных градуировочных растворов и холостой пробы три раза при длине волны 690-720 нм в оптической кювете с толщиной поглощающего слоя 20 или 30 мм, используя в качестве раствора сравнения дистиллированную воду. Для каждого градуировочного раствора и холостой пробы рассчитывают среднеарифметическое значение полученных значений оптической плотности.

Устанавливают градуировочную характеристику в виде зависимости среднеарифметических значений оптической плотности градуировочных растворов за вычетом среднеарифметического значения оптической плотности холостой пробы от массовой концентрации фосфатов.

*Ход определения.* В мерные колбы вместимостью 50 см<sup>3</sup> вносят 50 см<sup>3</sup> анализируемой воды (без разбавления можно определить не более

0,4 мг/дм<sub>3</sub> PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), профильтрованной через плотный бумажный фильтр «синяя лента», вносят 1,0 см<sup>3</sup> кислого раствора молибденовокислого аммония, перемешивают и через 5 мин микропипеткой (или дозатором) вносят 0,1 см<sup>3</sup> рабочего раствора двухлористого олова и снова перемешивают. Одновременно готовят 2 параллельные пробы. Подготовленные анализируемые пробы воды выдерживают от 10 до 15 мин, после чего проводят измерение оптической плотности.

Измеряют оптическую плотность аликвоты подготовленной пробы исследуемой воды, как при построении градуировочной характеристики с последующим расчетом массовой концентрации ортофосфатов. В качестве холостой пробы используют дистиллированную воду, подготовленную аналогично пробе исследуемой воды.

Массовую концентрацию ортофосфатов в пробе анализируемой воды X, мг/дм<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$X = \frac{C \cdot V_{k,1}}{V},$$

где C — значение массовой концентрации ортофосфатов в пробе, найденное по градуировочной характеристике, мг/дм<sup>3</sup>;

V<sub>k,1</sub> — приведение объема анализируемой воды к 50 см<sup>3</sup> (здесь V<sub>k,1</sub> принимает значение 50 см<sup>3</sup>);

V — объем анализируемой воды, взятый для определения, см<sup>3</sup>.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительные нормы Республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения: СН 4.01.02-2019. Введ. 31.12.19. — Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020 — 85 с.

2. Пойта, Л.Л. Пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология очистки сточных вод» / Л.Л. Пойта. — Брест : Из-во БрГТУ, 2015. — 55 с.

3. Яромский, В.Н. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Водоотведение и очистка сточных вод» Часть 2. / В.Н. Яромский, Л.Л. Пойта, Г.А. Волкова — Брест : Брестский политехнический институт, 1997. - 39 с.

4. Калицун, В.И. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод : Учеб. пособие для вузов / В.И. Калицун, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев. — Изд. 3-е, перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 2000. - 272 с.

5. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М. : Стройиздат 1977. — 299 с.

Учебное издание

**Составители:**

***Белов Сергей Григорьевич***  
***Акулич Татьяна Ивановна***  
***Таратенкова Майя Александровна***

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
**«Технология очистки сточных вод»**  
для студентов специальности 1-70 04 03  
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»,

Ответственный за выпуск: **Акулич Т.И.**  
Редактор: **Боровикова Е.А.**  
Компьютерная верстка: **Боровикова Е.А.**  
Корректор:

---

Подписано к печати **27.01.2011** г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Arial.  
Бумага «Снегурочка». Усл. п.л. 3,48. Уч.-изд. л. 2,48. Заказ № **97**.  
Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Бре-  
стский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

### 3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

[\(Структура\)](#)

#### [3.1. Вопросы к зачету.](#)

#### [3.2. Вопросы к экзамену.](#)

##### **3.1. Вопросы к зачету.**

1. Определение сточных вод, классификация сточных вод.
2. Классификация загрязнений сточных вод по природе и размеру частиц.
3. Нерастворенные вещества в сточных водах. Кривые седиментации. Гидравлическая крупность. Характеристика оседаемых веществ.
4. Коллоидные и растворенные вещества в сточных водах.
5. Процессы нитрификации и денитрификации, их значение при очистке сточных вод.
6. Растворение и потребление кислорода.
7. Окисляемость сточных вод. Биохимическая потребность в кислороде (БПК). Химическая потребность в кислороде (ХПК).
8. Аэробные и анаэробные процессы.
9. Бактериальное и биологическое загрязнения сточных вод.
10. Активная реакция сточных вод (рН), относительная стабильность сточных вод.
11. Определение концентрации загрязнения сточных вод.
12. Загрязнение водных объектов сточными водами. Процессы самоочищения водных объектов.
13. Процесс смешения и разбавления сточных вод в водотоках.
14. Потребление и растворение кислорода в воде водных объектов.
15. Условия сброса сточных вод в городскую водоотводящую сеть.
16. Условия сброса сточных вод в водные объекты.
17. Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах. Общие требования.
18. Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему.
19. Установление допустимых концентраций с учетом ассимилирующей способности водного объекта.
20. Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток.
21. Методы очистки сточных вод – механическая и физико-химическая очистка.
22. Методы очистки сточных вод – биологическая очистка, глубокая очистка и дезинфекция.
23. Методы обработки осадков.
24. Схемы очистных станций.
25. Стержневые решетки - назначение, классификация, конструкция, принцип работы.
26. Ступенчатые решетки - назначение, конструкция, принцип работы.

27. Характеристика отбросов, снимаемых с решеток, их обработка.
28. Песколовки. Назначение и их классификации.
29. Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды - назначение, конструкция, принцип работы.
30. Горизонтальные песколовки с круговым движением воды - назначение, конструкция, принцип работы.
31. Аэрируемые песколовки, назначение и конструкции.
32. Удаление осадка из песколовков. Песковые площадки и бункера.
33. Отстойники - назначение, классификация и область применения.
34. Процесс отстаивания сточных вод.
35. Горизонтальные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки.
36. Радиальные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки.
37. Вертикальные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки.
38. Тонкослойные отстойники – назначение, классификация, конструкция, принцип работы.
39. Биохимические основы технологических процессов очистки сточных вод методами аэрации.
40. Анализ процессов биохимической очистки сточных вод в аэротенках.
41. Физико-химическая, химическая и микробиологическая характеристики активного ила.
42. Классификация аэротенков по гидродинамическому режиму.
43. Технологические схемы работы аэротенков.
44. Конструкции коридорных аэротенков-вытеснителей.
45. Конструкции коридорных аэротенков-смесителей.
46. Конструкция, принцип работы оксиконтакта.
47. Биологическая очистка сточных вод в SBR реакторах (устройство, сущность процесса очистки, особенности).
48. Системы аэрации и типы аэраторов.
49. Теоретические основы метода биофильтрации.
50. Классификация биофильтров.
51. Технологические схемы работы биофильтров.
52. Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров.
53. Системы вентиляции биофильтров.
54. Капельные биофильтры (область применения, конструкция, расчет).
55. Высокнагружаемые биофильтры (область применения, конструкция, расчет).
56. Биофильтры с плоскостной загрузкой (область применения, конструкция).
57. Погружные биофильтры (назначение, принцип работы, классификация, достоинства).
58. Дисковые погружные биофильтры (конструкция, принцип работы).
59. Барабанные погружные биофильтры (конструкция, принцип работы).
60. Разделение иловых смесей.
61. Вторичные отстойники (назначение, классификация, конструкции, расчет).

### **3.2. Вопросы к экзамену.**

1. Формы азота в сточной воде. Формы фосфора в сточной воде.
2. Процессы биологической очистки сточных вод от соединений азота.
3. Схемы реализации процессов нитри- и денитрификации.
4. Биологическое удаление фосфора.
5. Химическое удаление фосфора.
6. Совместное биологическое удаление азота и фосфора.
7. Сущность и методы почвенной очистки сточных вод.
8. Поля фильтрации, их устройство и расчет.
9. Биологические пруды, назначение, устройство и расчет.
10. Методы глубокой очистки сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ (назначение, классификация). Процеживание на сетчатых барабанных фильтрах.
11. Фильтры для глубокой очистки сточных вод, их конструкции.
12. Методы обеззараживания сточных вод.
13. Смесители, их назначение, конструкции.
14. Контактные резервуары, их назначение, конструкции и расчет.
15. Выпуски очищенных сточных вод в водотоки.
16. Состав и свойства осадков сточных вод.
17. Методы обработки осадков.
18. Илоуплотнители (назначение, конструкция гравитационного, флотационного илоуплотнителя).
19. Механические сгустители – назначение, принцип работы.
20. Септики - назначение, их конструкции и расчет.
21. Двухъярусные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы.
22. Анаэробное метановое сбраживание.
23. Условия процесса анаэробного метанового сбраживания.
24. Назначение и конструкции метантенков, их принцип работы.
25. Процесс аэробной стабилизации осадков.
26. Технологические схемы аэробной стабилизации.
27. Аэробные стабилизаторы – назначение, конструкция, принцип работы.
28. Иловые площадки и их расчет.
29. Механическое обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах.
30. Обезвоживание осадков на центрифугах.
31. Обезвоживание осадков на фильтр-прессах.
32. Термическая сушка обезвоженного осадка.
33. Сжигание осадков.
34. Выбор места расположения площадки очистной станции.
35. Распределительные устройства на очистных сооружениях.
36. Водомерные устройства на очистных сооружениях.
37. Вспомогательные здания и сооружения очистной станции.
38. Генпланы очистных станций.
39. Высотные схемы расположения очистных сооружений.
40. Схемы очистки сточных вод малых населенных пунктов и отдельно стоящих объектов.
41. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод.

## **4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

[\(Структура\)](#)

4.1 Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Технология очистки сточных вод».

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый проректор БрГТУ

\_\_\_\_\_ М. В. Нерода

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Регистрационный № УД - \_\_\_\_\_ /уч.

## **Технология очистки сточных вод**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине  
для специальности:

1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов

2022 г.



Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-70 04 03-2019 и типового учебного плана J 70-1-004/пр-тип. для специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» (код 2142-017 по ОКРБ 014-2017).

#### СОСТАВИТЕЛИ:

Акулич Т. И., старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов

Андреюк С. В., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, кандидат технических наук, доцент

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Новосельцев В. Г., заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, кандидат технических наук, доцент;

Новик С. А., главный специалист отдела комплексного проектирования № 2 УП «Институт Брестстройпроект», магистр технических наук

#### РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ канд. техн. наук, доцент С. Г. Белов,  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2022);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии \_\_\_\_\_ канд. техн. наук, доцент

О. П. Мешик,

(протокол № \_\_ от \_\_\_\_\_ 2022);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2022).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

«Технология очистки сточных вод» - инженерная дисциплина, которая является для студентов специальности 1-700403 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» одной из основных специальных дисциплин, т. к. по окончании университета все выпускники направляются в организации, занимающиеся проектированием, строительством и эксплуатацией систем водоснабжения и водоотведения, включая и городские сооружения очистки сточных вод. Подготовка высококвалифицированных специалистов возможна лишь при достаточно детальном изучении и глубоком усвоении студентами данной дисциплины.

### Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Технология очистки сточных вод» является подготовка будущих специалистов по специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», умеющих самостоятельно:

- осуществлять выбор методов очистки сточных вод и обработки образующихся осадков с учетом водоохраных, санитарных и технико-экономических требований, а также с учетом современных достижений науки, техники и производства;
- проектировать весь комплекс городских очистных сооружений на базе современных достижений отечественной и зарубежной науки и техники в этой области;
- рационально эксплуатировать системы водоотведения в целом и отдельные сооружения; привить навыки анализа работы сооружений и научить правильно оценивать достоинства и недостатки конструкций сооружений;
- выполнять научные исследования в области технологии очистки сточных вод, обработки и обезвоживания осадков, а также исследования по изучению и совершенствованию работы сооружений очистных станций.

### Задачи изучения дисциплины

- усвоение студентами вопросов состава и свойств сточных вод;
- изучение основных закономерностей процессов очистки сточных вод и обработки осадков;
- приобретение знаний по назначению, устройству и принципу работы сооружений по очистке сточных вод и обработки осадков;
- приобретение навыков выбора, обоснования и проектирования сооружений и установок, реализующих технологические процессы очистки;
- овладение методами расчета городских канализационных очистных сооружений.

В соответствии с учебным планом специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» код компетенции БПК-15, БПК-16.

В результате изучения учебной дисциплины «Технология очистки сточных вод» специалист должен обладать следующими базовыми профессиональными компетенциями в соответствии с ОСВО 1-70 04 03-2019:

- знать требования к качеству очищенной воды, технологические схемы и оборудование для очистки воды, представленные в республике, уметь определять перспективные направления совершенствования отдельных технологических процессов и производств;
- быть способным демонстрировать знания о типах сооружений и отдельных элементов систем водоотведения и очистки сточных вод, оценивать эффективность работы системы водоотведения, применять технические методы, способствующие охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Студент должен знать:

- назначение, устройство и принцип работы сооружений по очистки сточных вод и обработки осадков;
- методики расчёта сооружений городской очистной станции;
- методы подбора основного оборудования;
- способы построения продольных профилей по ходу движения воды и осадков.

Студент должен уметь:

- определять требуемую степень очистки сточных вод перед сбросом их в водный объект;
- осуществлять выбор методов очистки городских сточных вод и обработки образующихся при этом осадков;
- составлять технологические схемы очистных станций различных производительностей и с учётом конкретных условий и особенностей;
- свободно разбираться во всех вопросах, связанных с проектированием городских станций очистки сточных вод;
- составлять и разрабатывать детально проекты очистных станций, читать рабочие чертежи;
- использовать при проектировании типовые проекты сооружений, применительно к конкретным условиям;
- использовать при проектировании новейшие достижения науки, техники и производства;
- пользоваться учебной, методической, справочной, научной и нормативной литературой.

Перечень дисциплин, знание которых необходимо для изучения курса:

«Механика жидкости и газа», «Основы эколого-энергетической устойчивости производства», «Химия воды и микробиология», «Вычислительные методы решения задач», «Насосные и воздуходувные станции», «Сети водоотведения», «Автоматизированное проектирование систем ВиВ», «Экономика водопроводно-канализационного хозяйства».

Поскольку дисциплина «Технология очистки сточных вод» носит прикладной характер, студенты одновременно с изучением теоретических вопросов должны научиться решать конкретные задачи инженерной практики в области проектирования, строительства и эксплуатации городских очистных сооружений. Поэтому программой предусмотрено также проведение практических занятий, лабораторных работ и выполнение курсового проекта по очистке сточных вод. Курсовое проектирование способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, полученных в процессе изучения теоретического курса. Студенты приобретают навыки пользования нормативной и справочной литературой.

**План учебной дисциплины для дневной формы получения  
высшего образования**

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-700403	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	4	5 6	272	6	164	82	32	50	-	60 (2 з.е.)	Зачет Экзамен

**План учебной дисциплины для заочной формы получения  
высшего образования**

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-700403	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3 4	6 7	272	6	38	18	8	12	-	60 (2 з.е.)	Зачет Экзамен

**План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего  
образования, интегрированного со средним специальным образованием**

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-700403	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3	5 6	272	6	34	12	12	10	-	60 (2 з.е.)	Зачет Экзамен

# 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## 1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

### 1.1.1. Введение

Предмет и его задачи, исторический обзор развития технологии очистки сточных вод.

### 1.1.2. Состав и свойства сточных вод.

Состав сточных вод. Санитарно-химический анализ сточных вод. Нерастворимые, коллоидные и растворимые вещества в сточных водах. Оседающие и неоседающие вещества в сточных водах. Осадок сточных вод и его количественная и качественная характеристики.

Процессы нитрификации и денитрификации, их значение при очистке сточных вод. Растворение и потребление кислорода. Биохимическая потребность в кислороде (БПК), химическая потребность в кислороде (ХПК) и окисляемость сточных вод. Аэробные и анаэробные процессы. Бактериальное и биологическое загрязнение сточных вод. Активная реакция, относительная стабильность сточных вод. Определение концентрации загрязнений городских сточных вод.

### 1.1.3. Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами.

Загрязнение водных объектов сточными водами. Процессы самоочищения водных объектов. Процессы смешения и разбавления сточных вод в водотоках. Потребление и растворение кислорода в воде водных объектов. Влияние выпадающего осадка на состояние водных объектов. Бактериальное самоочищение водоемов. Условия спуска сточных вод в системы водоотведения городов и в водные объекты.

Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах. Использование городских сточных вод в сельском хозяйстве и в промышленности.

### 1.1.4. Методы очистки сточных вод и обработка осадка. Схемы очистных станций.

Методы механической, биологической и физико-химической очистки сточных вод. Методы обработки осадков. Схемы очистных станций. Основные направления в развитии методов очистки сточных вод.

### 1.1.5. Механическая очистка сточных вод.

Решетки. Комбинированные решетки-дробилки. Их расчет и конструкции. Отбросы, снимаемые с решеток, их характеристика и обработка.

Песколовки горизонтальные, вертикальные, тангенциальные, аэрируемые. Методы расчета и конструкции. Характеристика пескопульпы и способы удаления.

Отстойники горизонтальные, вертикальные, радиальные, тонкослойные. Методы их расчета и конструкции, преимущества и недостатки.

### 1.1.6. Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (аэротенки).

Биохимические основы технологических процессов очистки сточных вод методами аэрации. Анализ процессов биохимической очистки сточных вод в аэротенках. Физико-химическая, химическая и микробиологическая характеристики активного ила.

Классификация аэротенков по гидродинамическому режиму. Технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках. Конструкции коридорных аэротенков и совмещенных сооружений.

Системы аэрации и типы аэраторов. Методы расчета аэротенков. Основные направления в интенсификации работы аэротенков.

1.1.7. Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (биофильтры).

Теоретические основы метода биофильтрации. Классификация биологических фильтров. Технологические схемы работы биофильтров. Системы распределения сточных вод по биофильтрам. Вентиляции биофильтров.

Конструкции и расчет биофильтров (капельные биофильтры, высоконагружаемые биофильтр, биофильтры с плоскостной загрузкой). Погружные биофильтры (дисковые, барабанные), конструкции и их расчет.

1.1.8. Вторичные отстойники.

Разделение иловых смесей. Классификация и конструкции вторичных отстойников, их расчет.

1.1.9. Методы очистки сточных вод от биогенных элементов.

Актуальность проблемы удаления азота и фосфора из сточных вод. Формы азота в сточной воде. Формы фосфора в сточной воде. Биологический метод удаления азота. Физико-химические методы удаления азота. Методы удаления фосфора. Совместное биологическое удаление азота и фосфора. Методика расчета сооружений для биологического удаления азота и фосфора.

1.1.10. Биологическая очистка сточных вод в естественных условиях.

Сущность метода почвенной очистки сточных вод. Поля орошения и поля фильтрации, их классификация. Методы расчета и устройства полей орошения и полей фильтрации. Биологические пруды, устройство и их расчет.

1.1.11. Методы и сооружения для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод.

Методы удаления взвешенных веществ. Фильтры, их конструкции и расчет. Микрофильтрация.

1.1.12. Обеззараживание и выпуск сточных вод.

Методы обеззараживания сточных вод. Обеззараживание жидким хлором. Обеззараживание сточных вод озонированием. Смесители, контактные резервуары, их конструкции и расчет. Сооружения для насыщения очищенной воды кислородом.

Классификация выпусков. Выпуск очищенных сточных вод в водотоки. Конструкции выпусков.

1.1.13. Обработка, обезвреживание и использование осадка.

Состав и свойства осадков сточных вод. Методы обработки осадка.

Уплотнители и сгустители осадков.

Процессы сбраживания осадков. Септики, их конструкции и расчет. Двухъярусные отстойники, их конструкции и расчет. Анаэробное метановое сбраживание. Условия процесса анаэробного метанового сбраживания. Конструкции метантенков, их расчет. Аэробная стабилизация осадков. Технологические схемы аэробной стабилизации. Аэробные стабилизаторы и их расчет.

Иловые площадки их расчет. Механическое обезвоживание осадков сточных вод на вакуум-фильтрах, центрифугах, фильтр-прессах. Термическая сушка обезвоженного осадка. Сжигание осадков. Компостирование осадков. Использование осадка сточных вод для сельскохозяйственных целей.

1.1.14. Общие схемы станций для очистки сточных вод.

Выбор места расположения очистной станции. Распределительные устройства на очистных сооружениях. Водомерные устройства на очистных сооружениях. Вспомогательные здания и сооружения очистной станции. Генпланы очистных станций. Высотные схемы расположения очистных сооружений.

1.1.15. Очистка сточных вод малонаселённых мест и отдельно расположенных

объектов.

Схемы очистки сточных вод малых населенных пунктов и отдельно стоящих объектов. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод (септики, двухъярусные отстойники, фильтрующий колодец, поля подземной фильтрации, фильтрующие траншеи, циркуляционные окислительные каналы).

## 1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1.2.1. Определение расчетных расходов сточных вод. Определение концентраций загрязнений сточных вод. Расчет эквивалентного и приведенного числа жителей.

1.2.2. Расчет коэффициента смешения и кратности разбавления в водотоках. Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах.

1.2.3. Выбор методов очистки и состава очистных сооружений. Разработка технологических схем.

1.2.4. Расчет решеток и песколовков

1.2.5. Расчет отстойников.

1.2.6. Расчет аэротенков (смесителей, вытеснителей, с регенерацией и без регенерации). Расчет необходимого расхода воздуха и подбор аэраторов для работы аэротенка.

1.2.7. Расчет биофильтров.

1.2.8. Расчет вторичных отстойников.

1.2.9. Расчет сооружений для биологического удаления азота и фосфора.

1.2.10. Расчет сооружений для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод.

1.2.11. Расчет сооружений для обеззараживания сточных вод.

1.2.12. Расчет сооружений по стабилизационной обработке осадков сточных вод (метантенки, аэробные стабилизаторы).

1.2.13. Расчет сооружений по обезвоживанию осадков сточных вод (илоуплотнители, вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги, иловые площадки).

1.2.14. Расчет сооружений для очистки сточных вод малонаселённых мест и отдельно расположенных объектов (септики, поля орошения, поля подземной фильтрации, песчано-гравийные фильтры, фильтрующие траншеи и др.).

1.2.15. Разработка генпланов очистных станций.

1.2.16. Расчет коммуникаций, составление профилей по ходу движения воды и осадка.

## 1.3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1.3.1. Ознакомление с лабораторией. Изучение требований к подготовке и проведению лабораторных работ. Правила техники безопасности. Подготовка к выполнению работы по определению состава сточных вод (отработка методики определения растворенного в воде кислорода).

1.3.2. Определение основных показателей сточных вод (взвешенные вещества, рН, БПК и др.)

1.3.3. Определение кинетики осаждения взвешенных веществ из сточных вод.

1.3.4. Оценка технологической эффективности работы первичных отстойников.

1.3.5. Определение основных технологических характеристик аэротенков.

1.3.6. Гидробиологический анализ активного ила.

1.3.7. Реагентная дефосфотация сточных вод.

1.3.8. Определение основных свойств осадка сточных вод (влажность, зольность, содержание беззольного вещества, концентрация осадка по сухому веществу, удельное сопротивление осадка).

1.3.9. Определение эффективности обезвоживания осадка на модели центрифуги.

1.3.10. Кондиционирование осадков сточных вод реагентным методом.

1.3.11. Анализ осадка, задерживаемого в песколовках.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

В рамках изучения дисциплины программой предусматривается выполнение курсового проекта на тему: «Городская очистная станция».

Курсовой проект состоит:

1) из пояснительной записки объёмом 40-60 страниц, включающей: задание на проектирование; определение расходов и концентраций загрязнений городских сточных вод; установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах; разработку технологической схемы; расчёт сооружений очистной станции; разработку генплана очистной станции; гидравлический расчёт коммуникаций очистной станции, необходимых для построения профилей по ходу движения воды и осадка; конструирование одного из сооружений очистной станции (по указанию руководителя); список использованной литературы;

2) из графической части, включающей в себя: генплан очистной станции - 1 лист формата А1, чертёж одного из сооружений очистной станции (по заданию руководителя) - 1 лист формата А1 и высотное проектирование в виде профилей по ходу движения воды и осадка - 1 лист формата А1 или допускается вычерчивание профилей на листе нестандартного формата с подшиванием в пояснительную записку.



### 3.1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

для дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самостоятельной работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>5 семестр</b>							
1	Введение. Предмет и его задачи, исторический обзор развития технологии очистки сточных вод.	1	-	-	-	-	-
2	Состав и свойства сточных вод.	7	1	-	4	12	зачет
3	Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами.	6	1	-	-	10	зачет
4	Методы очистки сточных вод и обработка осадка. Схемы очистных станций.	4	2	-	-	6	зачет
5	Механическая очистка сточных вод.	8	4	-	6	13	зачет
6	Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (аэротенки).	10	4	-	6	16	зачет
7	Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (биофильтры).	8	2	-	-	13	зачет
8	Вторичные отстойники.	4	2	-	-	6	зачет
	<b>Итого</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>76</b>	
<b>6 семестр</b>							
9	Методы очистки сточных вод от биогенных элементов.	4	4	-	4	7	экзамен
10	Биологическая очистка сточных вод в естественных условиях.	2	2	-	-	3	экзамен
11	Методы и сооружения для глубокой биологически очищенных сточных вод.	2	4	-	-	3	экзамен

12	Обеззараживание и выпуск сточных вод.	4	4	-	-	7	экзамен
13	Обработка, обезвреживание и использование осадка.	12	10	-	12	18	экзамен
14	Общие схемы станций для очистки сточных вод.	6	8	-	-	9	экзамен
15	Очистка сточных вод малонаселённых мест и отдельно расположенных объектов.	4	2	-	-	7	экзамен
	<b>Итого</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>54</b>	экзамен
	<b>ВСЕГО</b>	<b>82</b>	<b>50</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>130</b>	зачет, экзамен

### 3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самостоятельной работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	8	9
<b>6 семестр</b>							
1	Введение. Предмет и его задачи, исторический обзор развития технологии очистки сточных вод. Состав и свойства сточных вод. Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами. Методы очистки сточных вод и обработка осадка. Схемы очистных станций.	2	1	-	2	20	зачет
2	Механическая очистка сточных вод.	4	2	-	2	38	зачет
3	Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (аэротенки). Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (биофильтры). Вторичные отстойники.	4	3	-	-	38	зачет
	<b>Итого</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>96</b>	зачет

7 семестр							
4	Методы очистки сточных вод от биогенных элементов. Биологическая очистка сточных вод в естественных условиях.	2	1	-	1	20	экзамен
5	Методы и сооружения для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод. Обеззараживание и выпуск сточных вод.	2	1	-	-	19	экзамен
6	Обработка, обезвреживание и использование осадка.	2	2	-	3	20	экзамен
7	Общие схемы станций для очистки сточных вод. Очистка сточных вод малонаселённых мест и отдельно расположенных объектов.	2	2	-	-	19	Экзамен
	<b>Итого</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>78</b>	экзамен
	<b>Всего</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>-</b>	<b>8</b>	<b>174</b>	зачет, экзамен

### 3.3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самостоятельной работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	8	9
5 семестр							
1	Введение. Предмет и его задачи, исторический обзор развития технологии очистки сточных вод. Состав и свойства сточных вод. Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами. Методы очистки сточных вод и обработка осадка. Схемы очистных станций.	2	1	-	2	29	зачет
2	Механическая очистка сточных вод.	2	1	-	2	30	зачет

3	Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (аэротенки). Биологическая очистка сточных вод в искусственно созданных условиях (биофильтры). Вторичные отстойники.	2	2	-	2	30	зачет
	<b>Итого</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>89</b>	зачет
6 семестр							
4	Методы очистки сточных вод от биогенных элементов. Биологическая очистка сточных вод в естественных условиях. Методы и сооружения для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод. Обеззараживание и выпуск сточных вод.	2	2	-	2	30	экзамен
5	Обработка, обезвреживание и использование осадка.	2	2	-	4	30	экзамен
6	Общие схемы станций для очистки сточных вод. Очистка сточных вод малонаселённых мест и отдельно расположенных объектов.	2	2	-		29	экзамен
	<b>Итого</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>89</b>	экзамен
		<b>12</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>178</b>	зачет, экзамен

#### 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

##### 4.1. ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

###### 4.1.1. Основная литература

1. Васильева, Н. В. Водоотведение и очистка сточных вод : курс лекций / Н. В. Васильева ; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадров, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Горки : БГСХА, 2014. – 218 с.

2. Дубенок, С. А. Расчет нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты : пособие / С. А. Дубенок ; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Водоснабжение и водоотведение". – Минск : БНТУ, 2017. – 37 с.

3. Строительные нормы Республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения : СН 4.01.02-2019. Введ. 31.10.19. – Минск : Министерство архитектуры и строительства РБ, 2020 – 81 с.

4. Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.06.02-002-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета нормативов

допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод». Утверждены и введены в действие постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 21.09.2021 № 8-Т.

5. О некоторых вопросах нормирования сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 21 мая 2017, № 16 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 21.06.2017, 8/32141.

#### 4.1.2. Дополнительная литература

1. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебное издание / Ю. В. Воронов. - М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. - 760 с.

2. Харькина, О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод / О. В. Харькина. - Волгоград : Панорама, 2015. — 433 с. — (Очистка сточных вод. Концепция 10 шагов).

3. Новикова, О. К. Обработка осадков сточных вод : учеб.-метод. пособие / О. К. Новикова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель : БелГУТ, 2015. — 96 с.

4. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с.

5. Ласков, Ю. М. Примеры расчетов канализационных очистных сооружений : учебное пособие для ВУЗов / Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов, В. И. Калицун. - М. : ИД «Альянс», 2008. - 255 с.

6. Лукиных, А. А. Таблицы для гидравлического расчёта канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского : справочное пособие / А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. - М. : Стройиздат, 1987. - 152 с.

7. Санитарные правила и нормы 2.1.2.12-33-2005 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод от загрязнений», утвержденные Постановлением Главного государственного санитарного врача РБ от 28 ноября 2005 №198.

8. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов : постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 30 марта 2015, № 13 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.04.2015, 8/29808.

#### 4.1.3. Учебно-методические разработки

1. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Технология очистки сточных вод» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» / Брест. гос. техн. ун-т ; сост.: Т. И. Акулич, С. В. Андреюк. – Брест : БрГТУ, 2022. – 46 с.

2. Белов, С. Г. Городская очистная станция : пособие / С. Г. Белов, Т. И. Акулич, С. В. Андреюк. – Брест : БрГТУ, 2018. – 114 с.

3. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология очистки сточных вод» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» / Брест. гос. техн. ун-т ; сост.: С. Г. Белов, Т. И. Акулич, М. А. Таратенкова. – Брест : БрГТУ, 2020. – 60 с.

## 4.2 ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Определение сточных вод, классификация сточных вод.
2. Классификация загрязнений сточных вод по природе и размеру частиц.

3. Нерастворенные вещества в сточных водах. Кривые седиментации. Гидравлическая крупность. Характеристика оседаемых веществ.
4. Коллоидные и растворенные вещества в сточных водах.
5. Процессы нитрификации и денитрификации, их значение при очистке сточных вод.
6. Растворение и потребление кислорода.
7. Окисляемость сточных вод. Биохимическая потребность в кислороде (БПК). Химическая потребность в кислороде (ХПК).
8. Аэробные и анаэробные процессы.
9. Бактериальное и биологическое загрязнения сточных вод.
10. Активная реакция сточных вод (рН), относительная стабильность сточных вод.
11. Определение концентрации загрязнения сточных вод.
12. Загрязнение водных объектов сточными водами. Процессы самоочищения водных объектов.
13. Процесс смешения и разбавления сточных вод в водотоках.
14. Потребление и растворение кислорода в воде водных объектов.
15. Условия сброса сточных вод в городскую водоотводящую сеть.
16. Условия сброса сточных вод в водные объекты.
17. Установление допустимых концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах. Общие требования.
18. Установление допустимых концентраций по показателю БПК<sub>5</sub>, показателю ХПК, взвешенным веществам, аммоний – иону, азоту общему, фосфору общему.
19. Установление допустимых концентраций с учетом ассимилирующей способности водного объекта.
20. Установление максимальной допустимой температуры отводимых сточных вод в водоток.
21. Методы очистки сточных вод – механическая и физико-химическая очистка.
22. Методы очистки сточных вод – биологическая очистка, глубокая очистка и дезинфекция.
23. Методы обработки осадков.
24. Схемы очистных станций.
25. Стержневые решетки - назначение, классификация, конструкция, принцип работы.
26. Ступенчатые решетки - назначение, конструкция, принцип работы.
27. Характеристика отбросов, снимаемых с решеток, их обработка.
28. Песколовки. Назначение и их классификации.
29. Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды - назначение, конструкция, принцип работы.
30. Горизонтальные песколовки с круговым движением воды - назначение, конструкция, принцип работы.
31. Аэрируемые песколовки, назначение и конструкции.
32. Удаление осадка из песколовки. Песковые площадки и бункера.
33. Отстойники - назначение, классификация и область применения.
34. Процесс отстаивания сточных вод.
35. Горизонтальные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки.
36. Радиальные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки.

37. Вертикальные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы, достоинства и недостатки.
38. Тонкослойные отстойники – назначение, классификация, конструкция, принцип работы.
39. Биохимические основы технологических процессов очистки сточных вод методами аэрации.
40. Анализ процессов биохимической очистки сточных вод в аэротенках.
41. Физико-химическая, химическая и микробиологическая характеристики активного ила.
42. Классификация аэротенков по гидродинамическому режиму.
43. Технологические схемы работы аэротенков.
44. Конструкции коридорных аэротенков-вытеснителей.
45. Конструкции коридорных аэротенков-смесителей.
46. Конструкция, принцип работы окислительного контакта.
47. Биологическая очистка сточных вод в SBR реакторах (устройство, сущность процесса очистки, особенности).
48. Системы аэрации и типы аэраторов.
49. Теоретические основы метода биофильтрации.
50. Классификация биофильтров.
51. Технологические схемы работы биофильтров.
52. Системы распределения сточных вод по поверхности биофильтров.
53. Системы вентиляции биофильтров.
54. Капельные биофильтры (область применения, конструкция, расчет).
55. Высокнагружаемые биофильтры (область применения, конструкция, расчет).
56. Биофильтры с плоскостной загрузкой (область применения, конструкция).
57. Погружные биофильтры (назначение, принцип работы, классификация, достоинства).
58. Дисковые погружные биофильтры (конструкция, принцип работы).
59. Барабанные погружные биофильтры (конструкция, принцип работы).
60. Разделение иловых смесей.
61. Вторичные отстойники (назначение, классификация, конструкции, расчет).

#### 4.3 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Формы азота в сточной воде. Формы фосфора в сточной воде.
2. Процессы биологической очистки сточных вод от соединений азота.
3. Схемы реализации процессов нитри- и денитрификации.
4. Биологическое удаление фосфора.
5. Химическое удаление фосфора.
6. Совместное биологическое удаление азота и фосфора.
7. Сущность и методы почвенной очистки сточных вод.
8. Поля фильтрации, их устройство и расчет.
9. Биологические пруды, назначение, устройство и расчет.
10. Методы глубокой очистки сточных вод от органических загрязнений и взвешенных веществ (назначение, классификация). Процеживание на сетчатых барабанных фильтрах.
11. Фильтры для глубокой очистки сточных вод, их конструкции.
12. Методы обеззараживания сточных вод.
13. Смесители, их назначение, конструкции.
14. Контактные резервуары, их назначение, конструкции и расчет.

15. Выпуски очищенных сточных вод в водотоки.
16. Состав и свойства осадков сточных вод.
17. Методы обработки осадков.
18. Илоуплотнители (назначение, конструкция гравитационного, флотационного илоуплотнителя).
19. Механические сгустители – назначение, принцип работы.
20. Септики - назначение, их конструкции и расчет.
21. Двухъярусные отстойники - назначение, конструкция, принцип работы.
22. Анаэробное метановое сбраживание.
23. Условия процесса анаэробного метанового сбраживания.
24. Назначение и конструкции метантенков, их принцип работы.
25. Процесс аэробной стабилизации осадков.
26. Технологические схемы аэробной стабилизации.
27. Аэробные стабилизаторы – назначение, конструкция, принцип работы.
28. Иловые площадки и их расчет.
29. Механическое обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах.
30. Обезвоживание осадков на центрифугах.
31. Обезвоживание осадков на фильтр-прессах.
32. Термическая сушка обезвоженного осадка.
33. Сжигание осадков.
34. Выбор места расположения и площадки очистной станции.
35. Распределительные устройства на очистных сооружениях.
36. Водомерные устройства на очистных сооружениях.
37. Вспомогательные здания и сооружения очистной станции.
38. Генпланы очистных станций.
39. Высотные схемы расположения очистных сооружений.
40. Схемы очистки сточных вод малых населенных пунктов и отдельно стоящих объектов.
41. Сооружения для очистки малых количеств сточных вод.

#### 4.4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

##### Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Влияние выпадающего осадка на состояние водных объектов [4.1.1.1, 4.1.2.1].
2. Бактериальное самоочищение водоемов [4.1.1.1, 4.1.2.1].
3. Использование городских сточных вод в сельском хозяйстве и в промышленности [4.1.1.1, 4.1.2.1].
4. Основные направления в развитии методов очистки сточных вод [4.1.1.1, 4.1.2.1].
5. Комбинированные решетки-дробилки [4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.2.4].
6. Песколовки вертикальные, конструкции и расчет [4.1.1.1, 4.1.1.3, 4.1.2.1, 4.1.2.4].
7. Основные направления в интенсификации работы аэротенков [4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.2.2, 4.1.2.4].
8. Физико-химические методы удаления азота [4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.2.2, 4.1.2.4].
9. Методика расчета сооружений для биологического удаления азота и фосфора [4.1.2.1, 4.1.2.2, 4.1.2.4].



10. Микрофльтрация для глубокой очистки биологически очищенных сточных вод [4.1.1.1, 4.1.2.1].

11. Обеззараживание сточных вод озонированием [4.1.1.1, 4.1.2.1].

12. Сооружения для насыщения очищенной воды кислородом [4.1.1.1, 4.1.1.3, 4.1.2.1].

13. Септики, их конструкции и расчет [4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.2.3].

14. Двухъярусные отстойники, их конструкции и расчет [4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.2.3].

15. Компостирование осадков [4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.2.3].

16. Использование осадка сточных вод для сельскохозяйственных целей [4.1.1.1, 4.1.2.1, 4.1.2.3].

### ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы УВО по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Водоотведение промышленных предприятий	ВВиОВР	нет	Согласовать протокол №____ от _____2022 г.
2. Оборудование сооружений по очистке природных и сточных вод	ВВиОВР	нет	Согласовать протокол №____ от _____2022 г.