

**Методические материалы для обучающихся
по освоению дисциплины**

Аппараты и методы очистки сточных вод
наименование дисциплины

Направление подготовки: 20.03.01 Техносферная безопасность
код и наименование направления подготовки / специальности

Направленность (профиль): «Экологическая безопасность предприятия»
наименование направленности (профиля) / специализации

Мурманск
2026

Составитель – Васильева Ж.В., канд.техн.наук, зав. кафедры экологии и техносферной безопасности ФГАОУ ВО «МАУ»

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины «Аппараты и методы очистки сточных вод» рассмотрены и одобрены на заседании кафедры ЭиТБ.

Общие положения

Цель методических материалов по освоению дисциплины - обеспечить обучающемуся оптимальную организацию процесса изучения дисциплины, а также выполнения различных форм самостоятельной работы.

Освоение дисциплины осуществляется на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы обучающихся. Основными видами аудиторной работы по дисциплине являются занятия лекционного и семинарского типа. Конкретные формы аудиторной работы обучающихся представлены в учебном плане образовательной программы и в рабочих программах дисциплин.

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины (модуля), ее структурой и содержанием, фондом оценочных средств.

Работая с рабочей программой, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемому перечню основной и дополнительной литературы и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего контроля и промежуточной аттестации.

Каждая рабочая программа по дисциплине сопровождается методическими материалами по ее освоению.

Отдельные учебно-методические разработки по дисциплине учебные пособия или конспекты лекций, методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и решению задач и т.п. размещены в ЭИОС МАУ.

Обучающимся рекомендуется получить в библиотеке МАУ учебную литературу, необходимую для работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины.

Виды учебной работы, сроки их выполнения, запланированные по дисциплине, а также система оценивания результатов, зафиксированы в технологической карте дисциплины:

Таблица 1 -Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Аппараты и методы очистки сточных вод» (промежуточная аттестация - экзамен)

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	max	
Текущий контроль				
1.	Выполнение практических работ/участие в семинарах	30	42	По расписанию
2.	Выполнение лабораторных работ	16	20	По расписанию
3.	Посещение и работа на лекциях	14	20	По расписанию
	ИТОГО	min -60	max - 80	
Промежуточная аттестация				
	Экзамен	min – 10	max - 20	
	ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	min - 70	max - 100	

Таблица 1 - Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Аппараты и методы очистки сточных вод» (промежуточная аттестация - курсовая работа/проект)

№	Критерии оценивания	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	min	
Выполнение курсовой работы/проекта				
1.	Степень полноты обзора состояния вопроса	10	14	
2.	Уровень и корректность использования в работе методов исследований, математического моделирования, расчетов	10	14	
3.	Применение современного математического и программного обеспечения, компьютерных технологий	10	14	
4.	Объем и качество выполнения графического материала, его соответствие тексту	10	14	
5.	Обоснованность и доказательность выводов работы	10	14	
6.	Своевременная сдача на проверку курсового проекта	10		
	ИТОГО	min -60	max - 80	
Промежуточная аттестация				
	Защита курсового проекта	min – 10	max - 20	Зачетная неделя
	ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ЗА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	min - 70	max - 100	

Работа по изучению дисциплины должна носить систематический характер. Для успешного усвоения теоретического материала по предлагаемой дисциплине необходимо регулярно посещать лекции, активно работать на учебных занятиях, выполнять письменные работы по заданию преподавателя, перечитывать лекционный материал, значительное внимание уделять самостоятельному изучению дисциплины.

Важным условием успешного освоения дисциплины является создание самим обучающимся системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с календарным учебным графиком.

1. Методические рекомендации при работе на занятиях лекционного типа

К занятиям **лекционного типа** относятся лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации преподавателем.

Лекция представляет собой последовательное изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера. Цель лекционного занятия – организация целенаправленной познавательной деятельности обучающихся по овладению программным материалом учебной дисциплины.

В ряде случаев лекция выполняет функцию основного источника информации, например, при отсутствии учебников и учебных пособий; в случае, когда новые научные

данные по той или иной теме не нашли отражения в учебниках; отдельные разделы и темы очень сложные для самостоятельного изучения обучающимися.

В ходе проведения занятий лекционного типа необходимо вести конспектирование излагаемого преподавателем материала.

Наиболее точно и подробно в ходе лекции записываются следующие аспекты: название лекции; план; источники информации по теме; понятия, определения; основные формулы; схемы; принципы; методы; законы; гипотезы; оценки; выводы и практические рекомендации.

Конспект - это не точная запись текста лекции, а запись смысла, сути учебной информации. Конспект пишется для последующего чтения и это значит, что формы записи следует делать такими, чтобы их можно было легко и быстро прочитать спустя некоторое время. Конспект должен облегчать понимание и запоминание учебной информации.

Рекомендуется задавать лектору уточняющие вопросы с целью углубления теоретических положений, разрешения противоречивых ситуаций. При подготовке к занятиям семинарского типа, можно дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из изученной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины.

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины.

2. Методические рекомендации по подготовке и работе на практических занятиях

Практическое занятие - это форма организации учебного процесса, предполагающая выполнение студентами по заданию и под руководством преподавателя одной или нескольких практических работ. И если на лекции основное внимание студентов сосредоточивается на разъяснении теории конкретной учебной дисциплины, то практические занятия служат для обучения методам ее применения. Главной их целью является усвоение метода использования теории, приобретение практических умений, необходимых для изучения последующих дисциплин.

Подготовку к практическому занятию лучше начинать сразу же после лекции по данной теме или консультации преподавателя. Необходимо подобрать литературу, которая рекомендована для подготовки к занятию и просмотреть ее. Любая теоретическая проблема должна быть осмыслена студентом с точки зрения ее связи с реальной жизнью и возможностью реализации на практике.

Общей целью практических занятий является закрепление теоретических знаний и навыков самостоятельной работы, полученных в процессе обучения по данной дисциплине.

1. Расчет необходимой степени очистки сточных вод перед их сбросом в водный объект

На занятии решаются три задачи, приведенные ниже.

Задача 1. Найти необходимую степень очистки сточных вод по БПК₅, сбрасываемых в водоток при следующих условиях. Расход сточных вод $q = 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$, расход воды в водотоке $Q = 20 \text{ м}^3/\text{с}$ (при 95% обеспеченности); коэффициент смешения сточной воды с водой водотока в расчетном створе $a = 0,31$; продолжительность перемешивания воды от места выпуска сточных вод до расчетного створа $t = 0,06 \text{ сут.}$; БПК₅ исходной сточной воды и речной воды до места выпуска сточных вод составляет $L_{\text{св}} = 220 \text{ мг/л}$, $L_p = 1,8$

мг/л соответственно.

Решение.

Согласно Приложению 1 СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод»:

– для водоемов, используемых для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для предприятий пищевой промышленности БПК₅ = 2 мг О₂/л;

– для водоемов рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест БПК₅ = 4 мг О₂/л.

Константа скорости потребления кислорода сточными водами $K_1 = 0,16$, константа реаэрации (диффундирования кислорода через поверхность воды) $K_2 = 0,1$.

Допустимая расчетная концентрация БПК в сточных водах, сбрасываемых в водоем

$$L_{\text{ок}} = \frac{a \cdot Q_p}{q_{CB} \cdot 10^{-K_1 \cdot t}} (L_{\text{ндк}} - L_p \cdot 10^{-K_2 \cdot t}).$$

Эффективность очистки по БПК рассчитывается по формуле

$$\Xi = \frac{L_{CB} - L_{\text{ок}}}{L_{CB}} \cdot 100.$$

Задача 2. Найти необходимую степень очистки сточных вод по БПК_{полн} исходя из условий минимального содержания растворенного кислорода, сбрасываемых в водоток, отнесенный к питьевому и хозяйственно-бытовому водоснабжению, а также для предприятий пищевой промышленности, при следующих условиях. Расход сточных вод $q = 1,0$ м³/с, расход воды в водотоке $Q = 40$ м³/с (при 95 % обеспеченности); коэффициент смешения сточной воды с водой водотока в расчетном створе $a = 0,4$; БПК_{полн} исходной сточной воды $L_{CB} = 357$ мг/л и речной воды до места выпуска сточных вод $L_p = 1,8$ мг/л; содержание растворенного кислорода в природной воде до места выпуска сточной $O_p = 6,5$ мг/л.

Решение.

Согласно Приложению 1 СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод» для водоемов питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для предприятий пищевой промышленности, $O_{\text{ндк}} = 4$ мг/л.

Допустимая расчетная концентрация по БПК в сточных водах, сбрасываемых в водоток из условий минимального содержания растворенного кислорода

$$L_{\text{ок}} = \frac{a \cdot Q_p}{0,4 q_{CB}} (O_p - 0,4 L_p - O_{\text{ндк}}) - \frac{O_{\text{ндк}}}{0,4}.$$

Задача 3. Найти необходимую степень очистки сточных вод по взвешенным веществам, сбрасываемым в водоток, отнесенный к категории водоемов питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для предприятий пищевой промышленности при следующих условиях. Расход сточных вод $q = 0,3$ м³/с, расход воды в водотоке $Q = 15$ м³/с (при 95% обеспеченности); коэффициент смешения сточной воды с водой водотока в расчетном створе $a = 0,75$; концентрация взвешенных веществ в сточной

воде, поступающей на очистную станцию, $C = 200$ мг/л, концентрация взвешенных веществ в речной воде до места выпуска сточных вод $b = 5$ мг/л.

Решение.

Согласно Приложению 1 СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод» для водоемов питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для предприятий пищевой промышленности концентрация взвешенных веществ $C_{пдк}$ должна быть не выше +0,75 мг/л к фоновому содержанию в реке, т.е. $p = 0,75$.

Кратность разбавления

$$n = \frac{a \cdot Q_p + q_{CB}}{q_{CB}}.$$

Допустимая к сбросу концентрация взвешенных веществ в сточных водах

$$C_{дк}^{вв} = n \cdot p + b.$$

Далее рассчитывается требуемая эффективность очистки по взвешенным веществам.

2. Расчет усреднителей

Задача 1. Определить объем усреднителя при залповом сбросе высоконцентрированных производственных сточных вод в течение $t_z = 0,5$ ч. Расход сточных вод постоянен $Q = 80$ м³/ч. Концентрация загрязнений $C_{max} = 450$ мг/л, $C_{cp} = 85$ мг/л. Допустимая концентрация загрязнений из условий нормальной работы последующих сооружений очистки $C_{дон} = 140$ мг/л.

Решение.

Т.к. $Q = \text{const}$, сбросы – залповые, то применяем усреднитель с дифференцированием потока. Коэффициент усреднения составляет

$$K_y = \frac{C_{max} - C_{cp}}{C_{дон} - C_{cp}}.$$

Объем усреднителя

$$W_y = \frac{K_y \cdot Q \cdot t}{2}.$$

Задача 2. Рассчитать объем усреднителя и эффект от усреднения объема для БПК по данным, приведенным в столбцах 1 – 3 табл. 8.

Таблица 1

Данные для расчета усреднителя

Период времени	Средний объемный расход в течение временного периода, м ³ /с	Среднее БПК в течение временного периода, мг/л	Расчетные часовые расходы на конец временного периода, м ³ /ч	Расчетный объем потока в конце временного периода, м ³	Объем в конце временного периода, м ³	Усредненная концентрация БПК в расчетный период, мг/л
1	2	3	4	5	6	7
0-1	9,7	150				

1-2	7,8	115				
2-3	5,8	75				
3-4	4,6	50				
4-5	3,7	45				
5-6	3,5	60				
6-7	4,2	90				
7-8	7,2	130				
8-9	12,5	175				
9-10	14,5	200				
10-11	15	215				
11-12	15,2	220				
12-13	15	220				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
13-14	14,3	210				
14-15	13,6	200				
15-16	12,4	190				
16-17	11,5	180				
17-18	11,5	170				
18-19	11,6	175				
19-20	12,9	210				
20-21	14,1	280				
21-22	14,1	305				
22-23	13,4	245				
23-24	12,2	180				
Среднее						

Решение.

1. Расчет объемных расходов ($\text{м}^3/\text{ч}$) производится по формуле

$$V = 3600 V',$$

где V' – секундный расход (столбец 1). Заполняется столбец 4.

2. В столбце 5 записываются значения объема по нарастающей. Например, с 0.00 до 1.00 – 34 920, с 1.00 до 2.00 $34\,920 + 28\,080 = 63\,000$. По этим данным строится графическая зависимость объема (по нарастающей) сточных вод от времени суток.

3. Соединяются начальные и конечные точки (прямая средней суточной скорости потока) и строятся касательные, параллельные линии средней суточной скорости.

4. Проводится вертикальная линия от точки касания к линии объема или от нижней точки касания к верхней касательной, которая показывает требуемый объем усреднителя.

5. Определяется усреднение концентраций БПК. И, хотя существует много способов расчета, самый простой – выполнить расчет с момента, когда усреднитель пуст. Принимаем, что усреднитель опорожняется в 8.30, следовательно, расчет надо вести с временного промежутка 8 – 9. В столбце 6 пишется 0.

а) Рассчитаем средний часовой расход, исходя из среднего секундного расхода. Среднее значение будет равно

$$V_{oc} = 10,85 \cdot 3600 = 39\,045 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Используя это значение, определяется объем стока, находящийся в усреднителе в

каждый час, по формуле

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} - V_{oc},$$

где V_{sc} – объем в усреднителе в конце текущего периода,

V_{sp} – объем в усреднителе в конце предыдущего периода;

V_{ic} – объем входящего потока в течение текущего периода;

V_{oc} – объем выходящего потока в течение текущего периода.

Например, с 9.00 до 10.00

$$V_{sc} = 0 + 45\,000 - 39\,045 = 5\,955 \text{ м}^3/\text{ч},$$

с 10.00 до 11.00

$$V_{sc} = 5\,955 + 52\,200 - 39\,045 = 19\,110 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Данные записываются в столбец 6 табл. 8.

б) Расчет средней концентрации производится по формуле

$$X_{oc} = \frac{V_{ic} X_{ic} + V_{sp} X_{sp}}{V_{ic} + V_{sp}},$$

где X_{oc} – средняя концентрация БПК в течение текущего периода, мг/л,

X_{ic} – средняя концентрация БПК во входящем потоке, мг/л,

V_{ic} – объем входящего потока в течение текущего периода

X_{sp} – средняя концентрация БПК в выходящем потоке, мг/л,

V_{sp} – объем в усреднителе в конце предыдущего периода.

Используя данные, приведенные в столбцах 3, 4 и 6, рассчитываются средние концентрации БПК и записываются в столбец 7.

С 9.00 до 10.00

$$X_{oc} = \frac{52200 \cdot 200 + 5955 \cdot 175}{52200 + 5955} = 197$$

С 10.00 до 11.00

$$X_{oc} = \frac{54000 \cdot 215 + 19110 \cdot 197}{54000 + 19110} = 210$$

3. Расчет объемов потоков сточных вод предприятия

На данном практическом занятии студенты начинают выполнять курсовой проект «Расчет очистных сооружений автотранспортного предприятия».

Источниками производственных сточных вод являются технологические операции основного производства АТП: обмывка смотровых ям, наружная обмывка автомашин, промывка отдельных узлов и деталей, продувка паровых котлов, регенерация водоумягчительных фильтров в котельных, охлаждение компрессоров и другого оборудования, мытье производственных помещений, стирка спецодежды и др.

Основными загрязняющими веществами производственных сточных вод являются нефтепродукты, минеральная и органическая взвесь (взвешенные вещества). Кроме того, в стоках могут присутствовать поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Очистные сооружения, как правило, проектируют в расчете на прием сточных вод от всех источников и очистку их от нефтепродуктов и взвешенных веществ за исключением охлаждающей воды и моющих растворов. Для охлаждающей воды и моющих растворов предусматривают локальные оборотные системы, из которых воду выпускают на

локальные очистные сооружения только при продувке или опорожнении перед ремонтом.

В курсовом проекте принимается единая производственная сеть, в которую поступают сточные воды от цехов основного производства, охлаждения компрессоров и двигателей, продувки котлов.

Определение расчетных расходов производственных сточных вод производится на основании количества единиц измерения в сутки и норм водоотведения на данную единицу измерения.

Суточный расход производственных сточных вод, м³/сут., определяется по формуле

$$Q_{сут.пр.} = N_{пр.} \cdot n_{пр.},$$

где $N_{пр.}$ – число единиц измерения в сутки, ед.изм./сут.;

$n_{пр.}$ – норма водоотведения на единицу измерения, м³/ед.изм.

Расчетный секундный расход, л/с, производственных сточных вод определяется по формуле

$$q_{пр} = \frac{Q_{сут.пр.} \cdot 1000}{3600 \cdot T_{пр.}},$$

где $T_{пр.}$ – продолжительность водоотведения производственных стоков, ч.

Сточные воды от промывки смотровых ям

Суточный расход сточных вод, м³/сут., от промывки смотровых ям рассчитывается по формуле

$$Q_{сут.см.ям} = N_{см.ям} \cdot n_{см.ям},$$

где $N_{см.ям}$ – число обмываемых смотровых ям в сутки, шт./сут.;

$n_{см.ям}$ – норма водоотведения на обмывку одной смотровой ямы $n_{см.ям} = 9$ м³/шт.

Расход сточных вод, м³/ч, от промывки смотровых ям принимается равномерным в течение рабочего дня предприятия

$$Q_{ч.об.см} = \frac{Q_{сут.об.см}}{T_{пр.}}$$

$T_{пр}$ равно времени работы предприятия, ч.

Сточные воды от наружной обмывки автомашин

Суточный расход сточных вод, м³/сут., от наружной обмывки автомашин

$$Q_{сут.а/м} = N_{гр.а/м} \cdot n_{гр.а/м} + N_{авт.} \cdot n_{авт.} + N_{л.а/м} \cdot n_{л.а/м},$$

где $N_{гр.а/м}$, $N_{авт.}$, $N_{л.а/м}$ – число обмываемых грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей в сутки соответственно, шт./сут.;

$n_{гр.а/м}$, $n_{авт.}$, $n_{л.а/м}$ – норма водоотведения на соответствующий автомобиль, $n_{гр.а/м} = 1,05$ м³/шт., $n_{авт.} = 0,5$ м³/шт., $n_{л.а/м} = 0,25$ м³/шт.

Количество одновременных обмывок зависит от количества обмывочных установок. Длительность обмывки одной автомашины составляет от 10 до 15 мин. Обычно в

соответствии с данными технологов производятся от двух до шести обмывок в сутки, например, в период с 9 до 10 часов; с 11 до 12 часов; с 17 до 18; с 19 до 20 часов. Часто обмывки производятся только в первую смену, причем количество обмывок в смену – не более шести. Сброс сточных вод с установок производится в период обмывок.

*Суточный расход сточных вод от промывки узлов
и деталей автомашин в моечных машинах*

Суточный расход сточных вод, м³/сут, от промывки узлов и деталей в моечных машинах

$$Q_{сут.дет.} = N_{a/м} \cdot n_{дет.},$$

где $N_{a/м}$ – число автомашин, узлы и детали которых направляются на промывку в моечные машины; в курсовом проекте принимается равным количеству обмываемых машин;

$n_{дет.}$ – норма водоотведения на промывку узлов и деталей одного автомобиля в моечных машинах; $n_{дет.} = 0,3$ м³/а/м.

Часовой расход принимается равномерным в течение рабочего дня предприятия ($T_{пр}$ равно времени работы предприятия в сутки, ч), м³/ч:

$$Q_{ч.дет} = \frac{Q_{сут.дет.}}{T_{пр}}.$$

Сточные воды от охлаждения компрессоров и двигателей

Допустим, что в соответствии с заданием технологов предприятия суточный расход сточных вод от компрессоров и двигателей при их охлаждении составляет $Q_{сут.к.д} = 5$ м³/сут. Обычно сброс сточных вод от системы охлаждения производится один раз в сутки, примерно в середине рабочего дня предприятия, например, с 14 до 15 часов.

Сточные воды от продувки котлов

Суточный расход сточных вод, м³/сут., от продувки котлов типа ДКВР-6,5

$$Q_{сут.прод.} = N_{прод.} \cdot n_{прод.},$$

где $N_{прод.}$ – число продувок котлов в сутки, принимается по заданию;

$n_{прод.}$ – норма водоотведения на одну продувку котла типа ДКВР-6,5; $n_{прод.} = 4,5$ м³/прод.

Длительность сброса сточных вод при одной продувке составляет, как правило, один час. Допустим, по заданию технологов производятся две продувки котлов в первую смену (с 8 до 9 и с 13 до 14 часов) и две во вторую смену (с 16 до 17 и с 21 до 22 часов).

Результаты расчета сводятся в табл. 13.

Таблица 2

Расчетные расходы производственных сточных вод предприятия

Наименование	Количест	Удельное	Продолжитель	Расход сточных вод
--------------	----------	----------	--------------	--------------------

производственных процессов	во единиц измерения в сутки	водоотведение на единицу измерения	ность водоотведения	$Q_{\text{сут.пр.}}, \text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{час.пр.}}, \text{м}^3/\text{ч}$
Обмывка смотровых ям			Равномерно за $T_{\text{пр}}$		
Наружная обмывка автомобилей	I смена	Грузовые	4 часа в сутки		
		Автобусы			
		Легковые			
	II смена	Грузовые			
		Автобусы			
		Легковые			
Промывка узлов и деталей			Равномерно за $T_{\text{пр}}$		
Охлаждение компрессоров и двигателей			1 час в сутки		
Продувка котлов типа ДКВР-6,5			1 продувка в час		

4. Определение концентрации загрязнений при смешении сточных вод

При проектировании локальных очистных сооружений, кроме расчетных расходов сточных вод, необходимо знать концентрацию загрязнений в стоках по характерным показателям. Обычно такими видами загрязнений в сточных водах автопредприятий являются нефтепродукты и взвешенные вещества.

Концентрация нефтепродуктов и взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на ЛОС, в период выпадения расчетного дождя и после него (при опорожнении регулирующих резервуаров), составляет:

1) по нефтепродуктам

$$C_{\text{см}}^{\text{нп}} = \frac{\sum (C_i^{\text{нп}} \cdot Q_i)}{\sum Q_i}.$$

где $C_i^{\text{нп}}$ – концентрация нефтепродуктов в производственных и дождевых сточных водах, мг/л; принимается для сточных вод:

- от обмывки смотровых ям $C_1^{\text{нп}} = 500$ мг/л;
- наружной обмывки автомашин $C_2^{\text{нп}} = 200$ мг/л;
- от охлаждения компрессоров и двигателей $C_3^{\text{нп}} = 20$ мг/л;
- от промывки узлов и деталей в моечных машинах $C_4^{\text{нп}} = 250$ мг/л;
- от продувки котлов $C_5^{\text{нп}} = 20$ мг/л;
- в дождевых сточных водах $C_6^{\text{нп}} = 120$ мг/л;

Q_i – суточный расход производственных и дождевых сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$.

2) по взвешенным веществам

$$C_{см}^{B.B} = \frac{\sum (C_i^{B.B} * Q_i)}{\sum Q_i},$$

где $C_i^{B.B}$ – концентрация взвешенных веществ в производственных и дождевых сточных водах, мг/л; принимается для сточных вод:

- от обмывки смотровых ям $C_1^{BB} = 300$ мг/л;
- наружной обмывки автомашин $C_2^{BB} = 300$ мг/л;
- от охлаждения компрессоров и двигателей $C_3^{BB} = 20$ мг/л;
- от промывки узлов и деталей в моечных машинах $C_4^{BB} = 250$ мг/л;
- от продувки котлов $C_5^{BB} = 20$ мг/л;
- в дождевых сточных водах $C_6^{BB} = 250$ мг/л.

Для рассмотренного примера расчета эти величины составят:

$$C_{см}^{шт} = \frac{500 \cdot 54 + 200 \cdot 6,8 + 20 \cdot 5 + 250 \cdot 2,9 + 20 \cdot 18 + 120 \cdot 1389}{54 + 6,8 + 5 + 2,9 + 18 + 1389} = 133 \text{ мг/л};$$

$$C_{см}^{в.в} = \frac{300 \cdot 54 + 300 \cdot 6,8 + 20 \cdot 5 + 250 \cdot 2,9 + 20 \cdot 18 + 250 \cdot 1389}{54 + 6,8 + 5 + 2,9 + 18 + 1389} = 248,5 \text{ мг/л}$$

5. Расчет песколовков

Расчет песколовков производится по СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»[2] и учебнику С.В. Яковлева и Ю.В. Воронова.

Песколовки необходимо предусматривать при производительности очистных сооружений свыше $100 \text{ м}^3/\text{сут}$. Число песколовков или отделений песколовков надлежит принимать не менее двух, причем все песколовки или отделения должны быть рабочими. Тип песколовки (горизонтальная, тангенциальная, аэрируемая) необходимо выбирать с учетом производительности очистных сооружений, схемы очистки сточных вод и обработки их осадков, характеристики взвешенных веществ, компоновочных решений и т.п. Некоторые данные для расчета песколовков приведены в табл. 9, 10.

Расчет горизонтальных и аэрируемых песколовков достаточно подробно описан в [11]. Площадь живого сечения одного отделения песколовков составит

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

v – продольная скорость движения воды, принимаемая в зависимости от расчетного диаметра улавливаемых частиц песка, м/с (табл. 11);

n – количество отделений песколовков.

Таблица 3

Значения K_s [2]

Диаметр задерживаемых частиц	Гидравлическая крупность	Значение K_s в зависимости от типа песколовков и отношения ширины B к глубине H аэрируемых песколовков
------------------------------	--------------------------	--

песка, мм	песка u_0 , мм/с	горизонтальные	аэрируемые		
			$B:H = 1$	$B:H = 1,25$	$B:H = 1,5$
0,15	13,2	-	2,62	2,5	2,39
0,20	18,7	1,7	2,43	2,25	2,08
0,25	24,2	1,3	-	-	-

Таблица 3

Характеристики песколовок [2]

Песколовка	Гидравлическая крупность песка u_0 , мм/с	Скорость движения сточных вод v_s , м/с, при притоке		Глубина H , м	Количество задерживаемого песка, л/(чел.-сут.)	Влажность песка, %	Эффективность, %
		минимальном	максимальном				
Горизонтальная	18,7-24,2	0,15	0,3	0,5-2	0,02	60	55-60
Аэрируемая	13,2-18,7	-	0,08-0,12	0,7-3,5	0,03	-	90-95
Тангенциальная	18,7-24,2	-	-	0,5	0,02	60	70-75

Длина песколовок

$$L = \frac{K \cdot h_{\max} \cdot v}{u_0},$$

где $h_{\max}$ – максимальная глубина проточной части песколовки, м;

u_0 – гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, мм/с;

K – коэффициент, учитывающий влияние турбулентного потока, равен

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

где $\omega = 0,05 \cdot v$ – вертикальная турбулентная составляющая продольной скорости.

Таблица 4

Расчетные параметры песколовок

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

0,15	13,2	0,15-0,20	0,05-0,10
0,20	18,7	0,15-0,20	0,05-0,10

Расчет вертикальных и тангенциальных песколовков по [11] производится из условия задержания частиц с расчетной гидравлической крупностью $v < u_0$. Площадь зеркала песколовки в плане составит

$$F_{\text{план}} = \frac{q_{\text{max}}}{u_0 n},$$

где n – количество песколовков.

Высота цилиндрической части песколовки составит

$$h_y = t \cdot v,$$

где $v \leq u_0$, $t = 120 - 180$ с – продолжительность пребывания воды в песколовке.

В песколовках стенки песковых бункеров выполняют под углом 60° к горизонту для обеспечения сползания осадка при его откачке, которая осуществляется гидроэлеваторами (кпд = 0,15-0,20) или песковыми насосами (кпд = 0,7).

Задача 1. Определить вышеизложенной методике [11] длину горизонтальной песколовки и максимальный расход сточных вод, если песколовка имеет три отделения, площадь живого сечения одного отделения $2,8 \times 6 \text{ м}^2$, максимальная глубина проточной части 2,5 м. Диаметр частиц песка: а) 0,15; б) 0,20 мм

Задача 2. В условиях задачи 1 определить длину аэрируемой песколовки и максимальный расход сточных вод.

Задача 3. Требуется удалить из сточных вод часовым расходом $12\,700 \text{ м}^3$ песок диаметром 15 мм и больше. Определить основные конструктивные размеры (диаметр, высоты конической и цилиндрической частей) вертикальной песколовки. Изобразить схему песколовки в масштабе с указанием полученных размеров.

6. Расчет отстойников

Обобщенный метод технологического расчета первичных отстойников заключается в выборе типа и необходимого числа типовых сооружений, обеспечивающих требуемый эффект осветления. Требуемая эффективность снижения концентрации взвешенных веществ (ВВ) при первичном осветлении воды в отстойнике рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = \frac{(C_{1n} - C_t)}{C_{1n}} \cdot 100,$$

где C_{1n} – начальная концентрация ВВ, г/м^3 ;

C_t – концентрация ВВ в воде после первичного отстойника, г/м^3 , принимаемая равной 100-150 г/м^3 .

По табл.12 СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» для достижения требуемого эффекта осветления при ближайшей соответствующей начальной концентрации ВВ определяется необходимая продолжительность отстаивания воды в покое t_{set} путем интерполяции табличных данных.

Таблица 5

Расчетные параметры первичных отстойников

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

$$t_{set} = t_{set(n)} + \frac{t_{set(n+1)} - t_{set(n)}}{\mathfrak{E}_{n+1} - \mathfrak{E}_n} (\mathfrak{E}_{mp} - \mathfrak{E}_n),$$

где $t_{set(n)}$ и $t_{set(n+1)}$ – продолжительность отстаивания, соответствующая эффективности осветления $\mathfrak{E}_n$ и $\mathfrak{E}_{n+1}$, в интервале которых находится $\mathfrak{E}_{mp}$, при условии, что $\mathfrak{E}_n < \mathfrak{E}_{mp} < \mathfrak{E}_{n+1}$.

Если t_{set} больше 30-40 мин., то данный эффект осветления приходится на пологую часть кривой кинетики осветления и его достижение без предварительной интенсификации процесса осаждения приведет к завышению объемов отстойников.

Условная гидравлическая крупность u_0 , мм/с, ВВ, которую необходимо обеспечить при отстаивании в покое при высоте осветления, равной глубине проточной части отстойника, рассчитывается по формуле [2]

$$u_0 = 1000 \frac{H_{set}}{t_{set}} \left(\frac{H_{set}}{h_{set}} \right)^n,$$

где H_{set} – глубина проточной части отстойника, м, h_{set} – принимаемая предварительно на основе возможных глубин типовых отстойников, принимаемых в зависимости от выбранного типа;

h_{set} – глубина при отстаивании в покое, принимаемая равной 0,5 м;

n – показатель степени, зависящий от способности ВВ к агломерации, принимаемый по рис. 7.

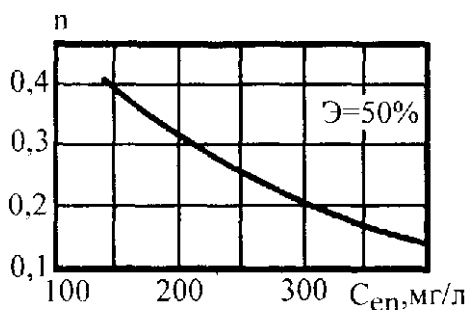


Рис. 7. Зависимость n от начальной концентрации ВВ (при $\mathfrak{E} = 50\%$) [2]

Необходимая продолжительность осветления воды, с, в отстойнике рассчитывается по формуле

$$t_{omc} = \frac{1000 H_{set}}{K_{set} u_0},$$

где K_{set} – коэффициент использования объема, принимаемый в зависимости от выбранного типа первичных отстойников.

Расчетный объем первичных отстойников W_{pac} , м³, определяется по формуле

$$W_{pac} = \frac{q_{max} t_{омс}}{3600}.$$

Исходя из выбранного типа отстойников и их возможной компоновки в схеме очистной станции принимаются необходимое число проектируемых отстойников $K_{омс}$ и их размеры, которые наиболее близко соответствуют величине W_{pac} , и определяется фактический расход воды $q_{факт}$, м³/ч, на один отстойник

$$q_{факт} = \frac{q_{max}}{K_{омс}}.$$

Фактическая средняя скорость потока v_{cp} , мм/с, в горизонтальном отстойнике шириной B составит

$$v_{cp} = \frac{q_{факт} 1000}{B \cdot H_{факт} 3600}.$$

Для радиального или вертикального отстойника средняя скорость потока v_{cp} , мм/с, определяется по половине радиуса отстойника для $D_{cp} = d_{факт}/2$

Определяется вертикальная составляющая турбулентной пульсации ω , мм/с, в отстойнике

$$\omega = 0,05 v_{cp}.$$

Рассчитывается фактическая продолжительность отстаивания воды $t_{факт}$, ч, в первичном отстойнике

$$t_{факт} = \frac{W_{факт}}{q_{max}}.$$

Определяется гидравлическая крупность $u_{омс}$, мм/с, задерживаемых в отстойнике принятых размеров и типа

$$u_{омс} = \frac{1000 H_{факт}}{K_{set} t_{факт} 3600}.$$

С учетом поправок на вертикальную составляющую турбулентной пульсации ω и увеличение вязкости воды μ при ее температуре в производственных условиях в зимний период, отличной от лабораторной ($T_{лаб} = 20^0C$), определяется фактическая гидравлическая крупность задерживаемых ВВ $u_{факт}$, мм/с,

Далее определяется лабораторная продолжительность отстаивания в покое $t_{лаб}$, с, соответствующая фактической $u_{факт}$ гидравлической крупности $u_{факт}$ и фактической глубине отстаивания $H_{факт}$

$$t_{лаб} = \frac{1000 H_{факт}}{u_{факт}} \left(\frac{H_{факт}}{h_{set}} \right)^n$$

Путем интерполяции определяется фактический эффект осветления $\mathcal{E}_{факт}$, %, соответствующий продолжительности отстаивания $t_{лаб}$

$$\mathcal{E}_{факт} = \mathcal{E}_n + \frac{(\mathcal{E}_{n+1} - \mathcal{E}_n)(t_{лаб} - t_n)}{t_{set(n+1)} - t_{set(n)}},$$

где $t_{set(n)} < t_{лаб} < t_{set(n+1)}$

Концентрация ВВ C_t , мг/л, в осветленной воде составит

$$C_t = C_0(1 - 0,01 \cdot \mathcal{E}_{факт}).$$

Эффективность снижения БПК в первичных отстойниках составляет $\mathcal{E}_{БПК} = 0,6 \mathcal{E}_{факт}$ и в осветленной воде будет равна

$$L_t = L_0(1 - 0,01 \mathcal{E}_{БПК}).$$

Масса сухого вещества $M_{сух}$, т/сут, уловленного за сутки осадка составит

$$\text{где } Q - \text{расход сточных вод, м}^3/\text{сут}, M_{сух} = \frac{C_0(0,01 \mathcal{E}_{факт})KQ}{1000 \cdot 1000},$$

$K=1,2$ – коэффициент, корректирующий массу загрязнений, неучитываемых при анализе ВВ.

Объем осадка, выгружаемого из отстойников за сутки $V_{ос}$, м³/сут,

$$V_{ос} = \frac{100 \cdot M_{сух}}{(100 - B_{ос})\rho},$$

где $B_{ос}$ – влажность осадка, %, принимаемая 93-95%;

ρ – плотность осадка, т/м³.

Задача. Определить количество секций первичного горизонтального отстойника, его ширину и рабочую глубину. $\mathcal{E} = 50\%$. После усреднения расход производственных сточных вод составляет 250 м³/ч, концентрация ВВ 350 г/м³. Принять скорость потока 10 мм/с. Кинетику осаждения принять по табл.30 СНиП при 20⁰С, в производственных условиях - 10⁰С. Глубина проточной части отстойника 2 м. Определить количество образующегося осадка.

7. Конструктивный расчет сооружений очистки сточных вод

Приемный резервуар-усреднитель

Расчет сооружений локальных очистных сооружений (ЛОС) производится на максимальный часовой расход поступающих сточных вод. При устройстве приемного резервуара, выполняющего одновременно роль усреднителя, его емкость, м³, следует рассчитывать на сглаживание пиковых концентраций загрязнений по формуле

$$W_y = \frac{Q_{ч.макс} \cdot \tau_y}{1,4},$$

где τ_y – расчетная продолжительность усреднения, ч; принимается τ_y в диапазоне от 0,2 до 1 ч.

Для перемешивания сточных вод в усреднителе предусматривается подача воздуха через перфорированные трубы-барботеры диаметром 40 - 50 мм. При сбросе в приемный резервуар-усреднитель грязной воды после промывки фильтров его объем должен быть соответственно увеличен. Насосы, перекачивающие стоки на очистку, подбираются по

расходу $Q_{ч.мах}$, $м^3/ч$, и требуемому напору, обеспечивающему нормальную работу гидроциклонов и других сооружений с учетом их высотного расположения, которое определяется при проектировании очистной станции.

Количество, размеры сооружений и их состав должны обеспечивать требуемое качество очистки сточных вод, обработки осадка и других отходов, а также бесперебойную работу очистной станции в режиме постоянной эксплуатации.

Нефтеуловители

Обычные и тонкослойные нефтеуловители (нефтеловушки) применяются для очистки сточных вод от нефтепродуктов и механических примесей, которые могут быть выделены методом отстаивания. В силу конструктивных особенностей тонкослойные нефтеуловители более компактны и обеспечивают полное задержание основной массы тонкоэмульгированных нефтепродуктов с размерами частиц до 30 мкм и частично более мелких фракций, а обычные нефтеловушки – только частицы с размерами фракций более 100 мкм.

Расчет обычных нефтеуловителей производится на максимальный приток сточных вод q , $м^3/с$, в следующем порядке.

Назначаются габариты нефтеловушки: число секций, их глубина и ширина. Число секций n принимается $n \geq 2$, но, учитывая небольшие расходы стоков автопредприятия, можно принять $n = 1$; назначается глубина нефтеловушки H и ширина ее секции B : от 1 до 2 м и от 2 до 6 м соответственно ($1 \leq H \leq 2$ м, $2 \leq B \leq 6$ м).

Параметры типовых нефтеловушек представлены в табл.6.

Таблица 6

Параметры типовых нефтеловушек

Номер типового проекта	Глубина проточной части, м	Строительные размеры секций, м			Число секций	Пропускная способность, м ³ /ч
		шири на, В	длина, L	высота, H		
902-2-157	1,2	2	12	2,4	1	18
902-2-158	1,2	2	12	2,4	2	36
902-2-159	1,25	3	18	2,4	2	72
902-2-160	1,5	3	24	3,6	2	108
902-2-161	2	3	30	3,6	2	162
902-2-3	2	6	36	2,4	2	396

После назначения габаритов нефтеловушки определяется средняя скорость движения воды, мм/с, в ее проточной части по формуле

$$v = \frac{q}{n \cdot H \cdot B}.$$

Скорость v должна приниматься равной от 4 до 6 мм/с (на практике v находится в пределах от 2 до 10 мм/с). При несоответствии найденной скорости v с нормативной расчет корректируют путем изменения габаритных размеров сооружения.

Далее определяется длина нефтеловушки, м, по формуле

$$L = \frac{v}{u_0} \cdot \alpha \cdot H,$$

где u_0 - гидравлическая крупность (т.е. скорость всплывания нефтяных или осадения взвешенных частиц), мм/с. В общем случае гидравлическая крупность загрязнений определяется по данным кинетики осадения нефти или взвеси. При отсутствии этих данных гидравлическая крупность нефтяных частиц u_0 для обычных нефтеловушек принимается равной 0,4 – 0,6 мм/с;

α – коэффициент, учитывающий турбулентность и струйность потока воды в нефтеловушке, при $v/u_0 = 10$ $\alpha = 1,5$; при $v/u_0 = 15$ $\alpha = 1,65$; при $v/u_0 = 20$ $\alpha = 1,75$.

Отношение L/H должно быть в пределах от 15 до 20. При необходимости, расчет корректируют.

Расчетная продолжительность отстаивания воды, ч, в нефтеловушке определяется по формуле

$$\tau_0 = \frac{L}{v}.$$

Продолжительность, ч, всплывания нефтяных частиц равна

$$\tau_{\theta} = \frac{H}{u_0}.$$

Необходимо, чтобы τ_{θ} было меньше τ_0 .

Количество свежего осадка, м³/сут, задерживаемого в нефтеловушке, определяется по формуле

$$W_{oc} = \frac{Q_{loc} \cdot A}{\rho \cdot (100 - p) \cdot 10^6},$$

где Q_{loc} – суточный расход сточных вод, поступающих на МОС, м³/сут;

A – количество задерживаемого осадка по сухому веществу, г/м³; $A = 80 - 120$ г/м³;

ρ – плотность свежевыпавшего осадка, т/м³; $\rho = 1,1$ т/м³;

p – влажность осадка, %; $p = 95$ %.

Высота слоя осадка в нефтеловушке, м, определяется по формуле

$$h_{oc} = \frac{W_{oc}}{n \cdot H \cdot L}.$$

Слой осадка в нефтеловушке следует принимать до 0,1 м. Сопоставляя эту величину с расчетной, определяем частоту включения скребков для сгребания осадка и его удаления из нефтеловушки, т.е.

$$n_{скл} = h_{oc} / 0,1.$$

Слой всплывших нефтепродуктов в нефтеловушке принимается $h_{вв} = 0,01$ м.

Высота борта нефтеловушки $h_{б}$ и высота нейтрального слоя $h_{н.с}$ принимаются $h_{б} = 0,3$ м; $h_{н.с} = 0,3$ м.

Тогда строительная высота нефтеловушки, м, будет равна

$$H_{стр} = h_{б} + h_{вв} + H + h_{н.с} + h_{oc}.$$

Эффект очистки (задержания) нефтепродуктов в нефтеуловителе зависит от гидравлической крупности загрязнений, состава и свойств сточных вод, определяющих кинетику их отстаивания.

При отсутствии этих данных эффект очистки стоков от нефтепродуктов в обычных нефтеловушках принимается при $u_o = 0,4$ мм/с $\mathcal{E}_n^{nn} = 70\%$; при $u_o = 0,6$ мм/с $\mathcal{E}_n^{nn} = 60\%$.

Остаточная концентрация нефтепродуктов, мг/л, в очищенной воде после нефтеловушки составляет

$$C_{ост.н}^{nn} = \frac{100 - \mathcal{E}_n^{nn}}{100} \cdot C_{см}^{nn}.$$

Эффект очистки сточных вод в нефтеуловителе от взвешенных веществ зависит от физических свойств минеральной и органической взвеси. Ориентировочно можно принять расчетный эффект очистки в обычных нефтеловушках $\mathcal{E}_n^{в.в} = 50-60\%$.

Остаточная концентрация взвешенных веществ в очищенной воде после нефтеловушки составляет, мг/л,

$$C_{ост.н}^{в.в} = \frac{100 - \mathcal{E}_n^{в.в}}{100} * C_{см}^{в.в}.$$

Для сбора и удаления нефтепродуктов с поверхности нефтеловушки предусматриваются нефтесборные поворотные трубы.

Гидроциклоны

Для очистки сточных вод от грубодисперсных оседающих примесей и отмывания нефтепродуктов от минеральных загрязнений обычно применяются напорные гидроциклоны.

Диаметр входного патрубка гидроциклона, см, определяется по эмпирической формуле

$$d_n = \sqrt{\frac{8 \cdot Q_{г.макс}}{\pi \cdot \sqrt{H}}}, \quad (31)$$

где H - напор перед гидроциклоном, м; $H = 10 - 15$ м.

Диаметр гидроциклона принимается $d = (2,5 - 5) \cdot d_n$, см.

Диаметр сливного патрубка $d_{сл} = (0,25 - 0,5) \cdot d$, см.

Диаметр шламовой насадки $d_{ш} = (0,05 - 0,12) \cdot d$, см.

Диаметр отверстия сопла, см, определяется по формуле

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{г.макс}}{\pi \cdot v_{вх}}},$$

где $v_{вх}$ - входная скорость в гидроциклон,

обычно принимается $v_{вх} = 6 - 10$ м/с.

Высота цилиндрической части гидроциклона принимается равной $H_{ц} = d$, см, высота конической части $H_{к} = 3 H_{ц}$, см.

Содержание нефтепродуктов в гидроциклонах не меняется.

Эффект очистки сточных вод от взвешенных веществ в напорных гидроциклонах принимается $\mathcal{E}_z^{г.г} = 30 - 50\%$.

Остаточная концентрация взвешенных веществ, мг/л, в очищенной воде после гидроциклона составляет

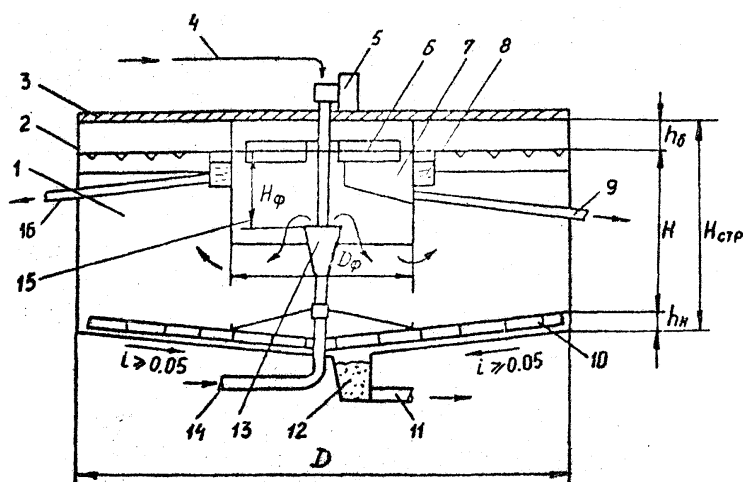
$$C_{ост.г}^{г.г} = \frac{100 - \mathcal{E}_z^{г.г}}{100} \cdot C_{ост.н}^{г.г}.$$

В технологической схеме обычно предусматривается не менее двух гидроциклонов, один из которых резервный.

8. Расчет флотатора

1) Флотаторы-отстойники

Для очистки сточных вод от плавающих и эмульгированных нефтепродуктов, смол, масел и других тонкодисперсных примесей рекомендуется установка флотатора-отстойника (рис. 5).



1 – отстойная камера; 2 – водосборный лоток с зубчатым водосливом; 3 – мостик обслуживания; 4 – трубопровод рециркуляционной воды; 5 – электропривод; 6 – верхние скребки для сбора всплывающих загрязнений (пены); 7 – сборный карман для всплывающих загрязнений (пены); 8 – кольцевой водосборный лоток; 9 – трубопровод для удаления всплывающих загрязнений; 10 – донные скребки; 11 – трубопровод для удаления осадка; 12 – приямок для осадка; 13 – водораспределитель; 14 – трубопровод для подачи воды на очистку; 15 – камера флотации; 16 – трубопровод очищенной воды

Рис. 5. Флотатор-отстойник

Флотаторы-отстойники применяются при сравнительно больших расходах сточных вод, что для автопредприятий характерно при совместной очистке дождевых и производственных сточных вод. Кроме этих сооружений, применяются многокамерные флотаторы.

В состав флотационной установки напорного типа входят: флотатор, напорный бак, насос для подачи очищаемой воды, рециркуляционный насос, реагентное хозяйство.

Объем флотатора-отстойника определяется по формуле, м^3 :

$$W_{\text{ф-о}} = Q_{\text{ч.макс}} * t_{\text{ф-о}},$$

где $t_{\text{ф-о}}$ - время пребывания воды во флотаторе-отстойнике, ч,

$$t_{\text{ф-о}} = t_{\text{ф.к}} + t_{\text{о.к}},$$

где $t_{\text{ф.к}}$ - время пребывания воды во флотационной камере; обычно принимается

$$t_{\text{ф.к}} = 10 \dots 20 \text{ мин};$$

$t_{\text{о.к}}$ - время пребывания воды в отстойной камере; обычно принимается $t_{\text{о.к}} = 1,5 \dots 2 \text{ ч.}$

Рабочая высота флотатора-отстойника принимается в пределах $H_{\text{ф-о}} = 1,5 \dots 3 \text{ м.}$

Площадь зеркала флотатора-отстойника определяется по формуле, м^2 :

$$F_{\text{ф-о}} = W_{\text{ф-о}} / H_{\text{ф-о}}.$$

Диаметр флотатора-отстойника определяется, м,

$$D_{\text{ф-о}} = \sqrt{\frac{4 * F_{\text{ф-о}}}{\pi}}.$$

Объем флотационной камеры определяется, м^3 ,

$$W_{ф.к} = Q_{ч.маx} * t_{ф.к} .$$

Высота флотационной камеры, т.е. расстояние от поверхности воды до верха водораспределителя, обычно принимается в пределах $H_{ф.к} = 1...1,2$ м.

Площадь зеркала флотационной камеры определяется, $м^2$,

$$F_{ф.к} = W_{ф.к} / H_{ф.к} .$$

Диаметр флотационной камеры определяется, м,

$$D_{ф.к} = \sqrt{\frac{4 * F_{ф.к}}{\pi}} .$$

Высота нейтрального слоя выше днища флотатора-отстойника принимается $h_{н.с} = 0,3$ м, высота борта $h_б \leq 0,3$ м.

Строительная высота флотатора-отстойника определяется, м,

$$H_{стр} = h_б + H_{ф-о} + h_{н.с} .$$

Производительность рециркуляционного насоса при подаче воды во флотатор-отстойник насосом принимается, $м^3/ч$,

$$Q_p = 0,5 * Q_{ч.маx} .$$

Напор, развиваемый рециркуляционным насосом, рекомендуется принимать $H_p = 35...40$ м.

Объем напорного бака определяется, $м^3$,

$$W_б = Q_p / (30...60) .$$

Высота бака $H_б$ принимается равной $1...1,5$ м, а его диаметр определяется по формуле, м:

$$D_б = \sqrt{\frac{4 * W_б}{\pi * H_б}} .$$

Для повышения качества очистки перед флотатором применяется ввод реагентов. Для обработки сточных вод автопредприятий чаще всего применяют неочищенный сернокислый алюминий. Во флотаторах происходит отделение скоагулированных взвесей.

Рекомендуется использовать камеры хлопьеобразования, состоящие из отдельных отсеков с постепенно уменьшающейся интенсивностью перемешивания.

Время пребывания в камерах хлопьеобразования следует принимать при отделении скоагулированных взвешенных веществ флотацией для коагулянтов — 3—5 минут.

Дозу реагента необходимо определять по таблице 10.

Суточный расход реагента, $кг/сут.$, определяется по формуле

$$M_{реаг} = D_p * Q_{сут.св} / 1000 ,$$

где D_p — доза реагента, $мг/л$, определяется по таблице 10.

Таблица 7

Загрязняющие вещества	Концентрация загрязняющих веществ, $мг/л$	Реагенты	D_p - доза реагента, $мг/л$
Нефтепродукты	До 100	Соли алюминия по товарному продукту	50—75
	100 —200		75 —100
	200—300		100—150

--	--	--	--

Остаточная концентрация нефтепродуктов и взвешенных веществ в очищенной воде после флотатора-отстойника составляет без применения реагентов 40...50 мг/л, с применением реагентов - 15...20 мг/л.

9. Расчет экстрактора. Расчет вертикального адсорбционного фильтра

Задача 1. В противоточном экстракторе непрерывного действия обрабатываются чистым бензолом сточные фенольные воды с целью очистки воды и извлечения фенола. Определить необходимое количество растворителя и число теоретических ступеней экстрагирования, если в 1 ч обрабатывается 20 м^3 воды. Содержание фенола в воде: начальное 8 кг/м^3 , конечное $0,5 \text{ кг/м}^3$, конечное содержание фенола в бензоле 25 кг/м^3 , температура жидкостей 20°C . Равновесные концентрации приведены в таблице. Плотность бензола 879 кг/м^3 .

Содержание фенола в воде, $x, \text{ кг/м}^3$	0,426	1,59	3,81	5,74
Равновесное содержание фенола в бензоле, $y_p, \text{ кг/м}^3$	0,974	6,4	20,8	46,7

Решение.

Необходимое количество бензола находится из уравнения материального баланса

$$V_{\text{воды}}(x_n - x_k) = V_{\text{бензола}}(y_k - y_n),$$

$$V_{\text{бензола}} = V_{\text{воды}} \frac{(x_n - x_k)}{(y_k - y_n)}.$$

По точкам строится равновесная линия, по данным в условии - равновесная. Графическим способом определяется число ступеней переноса.

Число теоретических ступеней находим графически: наносим на диаграмму равновесия, построенную по приведенным данным, рабочую линию, проходящую через точки с координатами (0,5; 0) и (8, 25), и вписываем между рабочей и равновесной линиями ступени изменения концентрации.

Задача 2. Определить требуемое количество активного угля, высоту слоя адсорбента и диаметр адсорбера периодического действия для поглощения паров бензина из его смеси с воздухом. Расход паровоздушной смеси $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Начальная концентрация бензина $\bar{C}_0 = 0,02 \text{ кг/м}^3$. Скорость паровоздушной смеси $\omega = 0,25 \text{ м/с}$, считая на полное сечение аппарата, динамическая активность угля по бензину $a_\partial = 7\%$ (масс.), остаточная активность после десорбции $a_0 = 0,8\%$ (масс.), насыпная плотность угля $\rho_{\text{нас}} = 500 \text{ кг/м}^3$. Продолжительность десорбции, сушки и охлаждения адсорбента составляет $\tau = 1,5$ ч.

Решение.

Для поглощения бензина за 1,5 ч необходимо адсорбента

$$G = \frac{V \cdot \tau \cdot \bar{C}_o}{a_o - a_0}.$$

Конструктивные размеры аппарата находятся из уравнения неразрывности потока.

10. Химические методы очистки промышленных сточных вод

Занятие проводится в форме "круглого стола". При подготовке следует акцентировать внимание на конструкциях и принципах действия аппаратов, в которых реализуются химические методы очистки сточных вод промышленных предприятий. Вопросы для обсуждения приведены ниже.

1. Конструкции и принцип действия аппаратов для нейтрализации сточных вод.
2. Конструкции и принцип действия аппаратов для окисления сточных вод промышленных предприятий.
3. Конструкции и принцип действия аппаратов для восстановления примесей сточных вод промышленных предприятий.

На обсуждение каждого вопроса отводится 25 минут, после чего ведущий резюмирует все выступления.

11. Расчет аэротенков

Расчет аэротенков производится по методике, изложенной в литературе.

Расчетная длительность аэрации t_{atm} в аэротенках - смесителях

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

где L_{en} , L_{ex} – БПК соответственно поступающей в аэротенк и очищенной сточной воде, мг/л;

a_i – доза ила, г/л, определяемая из условий обеспечения требуемого качества осветления очищенной сточной воды во вторичных отстойниках, $a_i = 3 - 5$ г/л при продленной аэрации, $a_i = 3 - 4$ г/л при низкой нагрузке, $a_i = 2,5 - 3,5$ г/л при средней нагрузке, $a_i = 2 - 3$ г/л при высокой нагрузке;

s – зольность ила, зависящая как от характера загрязнений сточных вод, так и глубины очистки и возраста ила, определяется по экспериментальным данным;

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч.

Удельная скорость аэрации рассчитывается по формуле

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_l C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \phi \cdot a_i},$$

где $\rho_{\max}$ – максимальная удельная скорость окисления тех или иных видов загрязнений, мг/(г ч), приведена в [2];

C_0 – концентрация растворенного кислорода, поддерживаемая в аэрационном сооружении, мг/л;

K_l – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК/л;

K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мг O_2 /л;

φ – коэффициент ингибирования биологических процессов продуктами распада активного ила, л/ч.

Расчетная длительность аэрации в аэротенках - вытеснителях

$$t_{atv} = \frac{1 + \varphi \cdot a_i}{\rho_{\max} C_0 a_i (1-s)} \left[(C_0 + K_0)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l C_0 \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p,$$

где K_p – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания, $K_p = 1,5$ при биологической очистке до $L_{ex} = 15$ мг/л, $K_p = 1,25$ при биологической очистке до $L_{ex} > 30$ мг/л.

L_{mix} = БПК поступающей в аэротенк сточной воде с учетом разбавления ее циркуляционным активным илом, мг/л, т.е.

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

R_i – степень рециркуляции активного ила, определяется как

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

где J_i – иловый индекс, см³/г; формула справедлива при $J_i < 175$ см³/г и $a_i < 5$ мг/л.

Продолжительность обработки воды в собственно аэротенке

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

Вместимость аэротенка, м³,

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

где q_w – расчетный расход сточных вод, м³/ч.

Прирост активного ила

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

где BB – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк, мг/л;

K_g – коэффициент прироста; для городских и близких к ним стоков $K_g = 0,3$.

Для аэротенков следует принимать число секций не менее двух, рабочую глубину – от 3 до 6 м, отношение ширины коридора к рабочей глубине от 1 : 1 до 2 : 1.

Задача. Производственные сточные воды, сходные по составу с городскими, имеют расход 1 000 м³/сут. Концентрация взвешенных веществ 150 мг/л, БПК – 250 мг/л. Определить расчетную длительность аэрации, вместимость аэротенка и прирост активного ила. Предполагается очищать сточные воды до БПК = 15 мг/л.

12. Методы обеззараживания сточных вод

Занятие проводится в форме "круглого стола". При подготовке следует

акцентировать внимание на конструктивных особенностях методов обеззараживания промстоков. Вопросы для обсуждения приведены ниже.

1. Хлорирование сточных вод.
2. Ультрафиолетовое и ультразвуковое обеззараживание сточных вод.
3. Озонирование сточных вод.

На обсуждение каждого вопроса отводится 25 минут, после чего ведущий резюмирует все выступления.

13. Составление принципиальных схем очистки сточных вод

Задача 1. Определить возможность совместной биологической очистки производственных и бытовых сточных вод при следующих исходных данных: БПК_{полн} смеси сточных вод, поступающих в аэротенки, $L_a = 600$ мг/л; концентрация азота в сточных водах $C_a = 22$ мг/л; концентрация фосфора $C_{\phi} = 4$ мг/л; расход сточных вод $Q = 5000$ м³/сут.

Задача 2. На заводские очистные сооружения поступают производственные сточные воды от трех технологических линий. Определить показатели объединенного стока, поступающего на станцию (расход, концентрации загрязнений) и предложить принципиальную технологическую схему очистки. Характеристики стоков отдельных линий следующие.

I	$Q = 30$ м ³ /ч,	БПК = 500 г/м ³ ,	ВВ = 100 мг/л;
II	$Q = 60$ м ³ /ч,	БПК = 200 г/м ³ ,	ВВ = 300 мг/л;
III	$Q = 40$ м ³ /ч,	БПК = 240 г/м ³ ,	ВВ = 200 мг/л.

Задача 3. На заводские очистные сооружения поступают производственные сточные воды от двух технологических линий. Определить необходимую степень очистки, если известно, что показатели очищенной сточной воды должны составлять по БПК 12 мг/л, по взвешенным веществам 10 мг/л. Предложить принципиальную технологическую схему очистки сточных вод. Характеристики стоков отдельных линий следующие.

I	$Q = 100$ м ³ /ч,	БПК = 220 г/м ³ ,	ВВ = 240 мг/л;
II	$Q = 40$ м ³ /ч,	БПК = 320 г/м ³ ,	ВВ = 170 мг/л.

14. Защита курсовой работы.

Цель: формирование способностей к обобщению информации, аргументированному отстаиванию своих предложений, развитие умений подготовки выступлений, навыков публичных выступлений и ведения дискуссий

Методические рекомендации:

Занятие проходит в форме конференции на последнем практическом занятии. Обсуждение происходит в диалоговом режиме между студентами и преподавателем.

Методические требования и рекомендации по выполнению представлены в рекомендациях по выполнению курсовой работы.

3. Групповые и индивидуальные консультации

Слово «консультация» латинского происхождения, означает «совещание», «обсуждение».

Консультации проводятся в следующих случаях:

- когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции;
- с целью оказания консультативной помощи при подготовке к промежуточной аттестации, участию в конференции и др.);
- если обучающемуся требуется помощь в решении спорных или проблемных вопросов возникающих при освоении дисциплины.

Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения. В частности, если затруднение возникло при изучении теоретического материала, то конкретно укажите, что вам непонятно, на какой из пунктов обобщенных планов вы не смогли самостоятельно ответить.

Если же затруднение связано с решением задачи или оформлением отчета о лабораторной работе, то назовите этап решения, через который не могли перешагнуть, или требование, которое не можете выполнить.

4. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Успешное освоение компетенций, формируемых учебной дисциплиной, предполагает оптимальное использование времени для самостоятельной работы.

Самостоятельная работа обучающегося - деятельность, которую он выполняет без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию, под его руководством и наблюдением. Обучающийся, обладающий навыками самостоятельной работы, активнее и глубже усваивает учебный материал, оказывается лучше подготовленным к творческому труду, к самообразованию и продолжению обучения.

Самостоятельная работа может быть аудиторной и внеаудиторной. Границы между этими видами работ относительны, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется во время проведения учебных занятий по дисциплине (модулю) по заданию преподавателя. Включает в себя:

- выполнение самостоятельных работ, участие в тестировании;
- выполнение контрольных, практических и лабораторных работ;
- решение задач и упражнений, составление графических изображений (схем, диаграмм, таблиц и т.п.);
- работу со справочной, методической, специальной литературой;
- оформление отчета о выполненных работах;
- подготовка к дискуссии, выполнения заданий в деловой игре и т.д.

Внеаудиторная самостоятельная работа (в библиотеке, в лаборатории МАУ, в домашних условиях, в специальных помещениях для самостоятельной работы в МАУ и т.д.) является текущей обязательной работой над учебным материалом (в соответствии с рабочей программой), которая не предполагает непосредственного и непрерывного руководства со стороны преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа по дисциплине может включать в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям, лабораторным работам и др.) и выполнение необходимых домашних заданий;
- работу над отдельными темами дисциплины (модуля), вынесенными на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой;
- проработку материала из перечня основной и дополнительной литературы по дисциплине, по конспектам лекций;

- написание рефератов, докладов, эссе, отчетов, подготовка мультимедийных презентаций, составление глоссария и др.;
- другие виды самостоятельной работы.

Содержание самостоятельной работы определяется рабочей программой дисциплины. Задания для самостоятельной работы имеют четкие календарные сроки выполнения.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение обучающимся следующих этапов:

1. Определение цели самостоятельной работы.
2. Конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи.
3. Самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи.
4. Выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения).
5. Планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи.
6. Реализация программы выполнения самостоятельной работы.
7. Самоконтроль выполнения самостоятельной работы, оценивание полученных результатов.
8. Рефлексия собственной учебной деятельности.

Работа с научной и учебной литературой

Работа с учебной и научной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к контрольным работам, тестированию, зачету.

В процессе работы с учебной и научной литературой студент может:

- делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике);
- составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора);
- готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы);
- создавать конспекты (развернутые тезисы, которые).

Выбрав нужный источник, следует найти интересующий раздел по оглавлению или алфавитному указателю, а также одноименный раздел конспекта лекций или учебного пособия. В случае возникших затруднений в понимании учебного материала следует обратиться к другим источникам, где изложение может оказаться более доступным. Необходимо отметить, что работа с литературой не только полезна как средство более глубокого изучения любой дисциплины, но и является неотъемлемой частью профессиональной деятельности будущего выпускника.

Решение ситуационных задач (кейс-заданий)

Кейс-задание (англ. case- случай, ситуация) - задание, связанное с конкретным последовательностью действий и направленное на разбор, осмысление и решение реальной профессионально-ориентированной ситуации.

Решение ситуационных задач направлено на формирование умения анализировать в короткие сроки большой объем неупорядоченной информации, принятия решений в условиях недостаточной информации, готовности использовать собственные индивидуальные креативные способности для решения исследовательских задач.

Рекомендации по работе с кейсом:

- сначала необходимо прочитать всю имеющуюся информацию, чтобы составить целостное представление о ситуации; не следует сразу ее анализировать, желательно лишь выделить в ней данные, показавшиеся важными;

- требуется охарактеризовать ситуацию, определить ее сущность и отметить второстепенные элементы, а также сформулировать основную проблему и проблемы, ей подчиненные;

- важно оценить все факты, касающиеся основной проблемы (не все факты, изложенные в ситуации, могут быть прямо связаны с ней), и попытаться установить взаимосвязь между приведенными данными;

- следует сформулировать критерий для проверки правильности предложенного решения, попытаться найти альтернативные способы решения, если такие существуют, и определить вариант, наиболее удовлетворяющий выбранному критерию.

1 Общие сведения по методам и аппаратам очистки сточных вод.

В результате изучения данной темы студент должен знать виды сточных вод и их генезис, состав промышленных, коммунально-бытовых и атмосферных сточных вод, основные задачи в области очистки сточных вод. Следует обратить внимание на классификацию методов очистки сточных вод, их характеристику.

Самостоятельная работа студента включает проработку вопросов, указанных ниже.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. *Перечислите основные показатели сточных вод.*
2. *Обоснуйте важность знания качественного и количественного состава для составления технологической схемы очистки.*
3. *Дайте общую классификацию методов очистки.*
4. *Охарактеризуйте вкратце каждую группу методов, указав диапазоны концентраций и дисперсного состава (если есть необходимость) применимости того или иного способа и эффективность.*
5. *Перечислите регенеративные методы очистки.*
6. *Перечислите деструктивные методы очистки.*
7. *Какие методы очистки подойдут для удаления из сточных вод взвешенных веществ концентрацией 10 мг/дм³, находящихся в микродисперсном состоянии? Известно, что взвесь органической природы.*

Тема 2. Методы, аппараты и сооружения механической очистки сточных вод.

Решетки, сита. Область применения и назначение. Конструкции решеток и сит. Песколовки: горизонтальные, вертикальные, тангенциальные и аэрируемые. Назначение. Расположение в технологической схеме. Конструкции, принцип действия и расчет песколовок. Отстойники: вертикальные, горизонтальные, радиальные, тонкослойные. Назначение, расположение в технологической схеме. Конструкции, принцип действия, расчет. Отстойники специальных конструкций: область применения, конструкции и принцип действия. Гидроциклоны и центрифуги: назначение, область применения, принцип действия.

Виды и свойства фильтрующих материалов. Общие сведения о фильтрационных установках для доочистки промышленных сточных вод. Напорные фильтры. Пенополиуретановые фильтры. Коалесцирующие фильтры. Ультрафильтрационные и обратноосмотические установки. Назначение, принцип действия, расположение в технологической схеме, расчет.

Курсовое проектирование предполагает расчет очистных сооружений автотранспортного предприятия, который частично выполняется на практических занятиях. Основная часть самостоятельной работы студента во время курсового проектирования состоит в черчении схемы очистки сточных вод предприятия и здания с расположением в нем запроектированного оборудования. Подробно вся работа по

курсовому проекту изложена в методических указаниях к курсовому проектированию. Рекомендуется ознакомиться с ИТС 8-2015.

Тема 3. Методы, аппараты и сооружения физико-химической очистки сточных вод

К физико-химическим методам очистки сточных вод относят коагуляцию, флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию, ректификацию, выпаривание, дистилляцию, обратный осмос и ультрафильтрацию, кристаллизацию, десорбцию и др. Эти методы используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных примесей, растворенных газов, минеральных и органических веществ.

Флотация оказывается эффективным комплексным методом удаления из сточных вод взвесей, эмульсий и растворенных поверхностно-активных веществ различного строения. Следует иметь в виду, что флотационная обработка воды вызывает также окисление ряда токсичных веществ или их отдувку. Благодаря этому общий санитарно-гигиенический эффект очистки воды в флотаторах несравненно выше эффекта отстаивания воды даже с применением коагулянтов, тем более, что введение последних или сорбентов непосредственно в флотируемую воду также часто весьма эффективен. При освоении данного метода следует хорошо разобраться в устройстве флотационных установок и их расчете, знать способы введения газа и его дисперсный состав.

Адсорбцию применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биологической очистки, а также в локальных установках, если концентрация этих веществ невелика и они биологически не разлагаются или являются сильнотоксичными. Применение локальных установок целесообразно, если вещество хорошо адсорбируется при небольшом удельном расходе адсорбента. При изучении адсорбции следует обратить внимание на применяемые сорбенты, их характеристики, изучить аппаратное оформление процесса: адсорбционные фильтры, адсорбция на порошкообразном угле, в псевдоожиженном слое адсорбента и др.

Обратным осмосом и ультрафильтрацией называют процессы фильтрования растворов через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое. Мембраны пропускают молекулы растворителя, задерживая растворенные вещества. При обратном осмосе отделяются частицы (молекулы, гидратированные ионы), размеры которых не превышают размеров молекул растворителя. При ультрафильтрации размер отдельных частиц на несколько порядков больше. Аппаратное оформление процессов мембранной сепарации (обратного осмоса и ультрафильтрации) аналогично, несмотря на то, что обратный осмос используется, в основном, для удаления неорганики, а ультрафильтрация для извлечения органических примесей. Это аппараты со спиральными фильтрующими элементами, аппараты типа «фильтр-пресс», аппараты с трубчатыми фильтрующими элементами, аппараты с мембранами в виде полых волокон.

Коагуляция - это процесс укрупнения дисперсных частиц за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты. Вещества, способные вызывать коагуляцию, называются *коагулянтами*. Коагулянты способны не только вызвать коагуляцию частиц загрязнений, но и, гидролизуясь, образовывать малорастворимые продукты, способные объединяться в крупные хлопья. Необходимо также отметить, что при правильной организации технологического процесса с помощью коагуляции возможно не только очищать воду от грубодисперсных и коллоидных загрязнений, но и от некоторых истинно растворенных примесей. Под *флокуляцией* в коллоидной химии понимают агрегацию частиц, в которой к дополнению (а иногда и взамен) к непосредственному контакту частиц происходит их взаимодействие через молекулы адсорбированного флокулянта. В этом есть основное отличие от коагуляции. Флокуляция также является одним из наиболее эффективных способов дестабилизации коллоидной системы. При изучении данных методов очистки промышленных сточных вод следует особое внимание обратить на свойства современных

коагулянтов и флокулянтов, область их применения, изучить составляющие реагентного хозяйства, а также порядок ввода реагентов в сточные воды.

Ионообменная очистка применяется для извлечения из сточных вод металлов (цинка, меди, хрома, никеля, свинца, ртути, кадмия, ванадия, марганца и др.), а также соединений мышьяка, фосфора, цианистых соединений и радиоактивных веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды. Ионный обмен широко распространен при обессоливании при водоподготовке. Изучение данного физико-химического метода предполагает знакомство с современными ионообменными материалами и аппаратным оформлением процесса ионного обмена.

Жидкостную экстракцию применяют для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты, ионы металлов и др. Целесообразность использования экстракции для очистки сточных вод определяется концентрацией органических примесей. Экстракция может быть экономически выгодна, если стоимость извлекаемых веществ компенсирует все затраты на его проведение. Для каждого вещества существует концентрационный предел рентабельности извлечения его из сточных вод. Аппаратурное оформление процесса экстракции весьма разнообразно и его выбор зависит от концентрации и свойств извлекаемого(ых) компонента(ов), применяемого экстрагента и сводится к эколого-экономической оценке проектируемых решений. После изучения подтемы достаточно знать классификацию используемых аппаратов и уметь привести схемы многоступенчатой противоточной экстракции и непрерывной противоточной экстракции с регенерацией экстрагента из экстракта и рафината.

Десорбция летучих примесей. При пропускании воздуха или другого инертного малорастворимого в воде газа (азот, диоксид углерода, топочные дымовые газы и др.) через сточную воду летучий компонент диффундирует в газовую фазу. Таким образом можно удалить сероводород, диоксид серы, сероуглерод, аммиак, диоксид углерода и органические летучие компоненты. Процесс может проводиться в тарельчатых, насадочных и распылительных колоннах. Степень удаления летучих веществ из сточных вод увеличивается с ростом температуры газожидкостной смеси, коэффициента массоотдачи и поверхности контакта фаз. Десорбируемое вещество направляют на адсорбцию или на каталитическую очистку.

Дезодорация. В некоторых сточных водах содержатся меркаптаны, аммиак, амины, сероводород, альдегиды, др. углеводороды, которые придают неприятный запах. Для очистки дурнопахнущих сточных вод можно использовать различные способы: аэрацию, хлорирование, дистилляцию, обработку дымовыми газами, окисление кислородом под давлением, озонирование, экстракцию, адсорбцию и микробиологическое окисление. При выборе метода необходимо учитывать его эффективность и экономическую целесообразность. Наиболее эффективным считается метод аэрации, который заключается в продувании воздуха через сточную воду. Процесс проводят в аппаратах различной конструкции, например, в тарельчатой колонне.

Дегазация. Присутствие в сточных водах растворенных газов затрудняет очистку и использование производственных сточных вод, усиливает коррозию трубопроводов и аппаратуры, придает воде неприятный запах. Растворенные газы из воды удаляют дегазацией, которую осуществляют химическими, термическими и десорбционными (аэрационными) методами. При рассмотрении десорбции, дегазации и дезодорации необходимо усвоить цели и область применения данных методов, а также аппаратное оформление процессов.

Электрохимические методы: анодное окисление и катодное восстановление, электрокоагуляция, электрофлотация и электродиализ. Основной недостаток - большой расход электроэнергии. При рассмотрении анодного окисления и катодного восстановления необходимо усвоить сущность метода, уметь изобразить схему электролизера, перечислить материалов электродов, применяемых в промышленности. Изучение разделов «Электрокоагуляция» и «Электрофлотация» должно привести к

четкому представлению физико-химической сущности процессов, протекающих в сточных водах, знанию схем электрофлотационных установок и методики их расчета.

К химическим методам очистки сточных вод относят нейтрализацию, окисление и восстановление. Все эти методы предполагают наличие реагентного хозяйства, поэтому себестоимость очистки достаточно высока. По этой причине химическая очистка не имеет широкого распространения, используется лишь в тех случаях, когда применение других методов невозможно. В технологических схемах данные методы применяют для удаления растворенных примесей и в замкнутых системах водоснабжения, иногда - как предварительную перед биологической очисткой или после нее, как метод доочистки сточных вод.

При изучении темы необходимо усвоить способы нейтрализации стоков и знать основные окислители и восстановители, область применения последних.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Для чего служат решетки и сита в практике очистки сточных вод?
2. Опишите принцип действия грабельной решетки.
3. Приведите классификацию песколовков.
4. Изобразите схему и принцип действия аэрируемой песколовки. Каково основное преимущество данной конструкции перед остальными?
5. Приведите классификации отстойников.
6. Изобразите схему и опишите принцип действия радиального отстойника.
7. Изобразите схему и опишите принцип действия горизонтальной нефтеловушки. В чем состоит главное отличие отстойников и отстойников специальных конструкций?
8. Изобразите схему и опишите принцип действия гидроциклона (мультигидроциклона). Для извлечения каких примесей он применяется в практике очистки сточных вод?
9. Для каких целей применяются на очистных станциях канализации непрерывнодействующие центрифуги?
10. Приведите общие сведения о фильтрационных установках.
11. Изобразите схему и опишите принцип действия напорного фильтра.
12. Изобразите схему и опишите принцип действия многослойного фильтра.
13. Изобразите схему и опишите принцип действия пенополиуретанового фильтра.
14. Изобразите схему и опишите принцип действия ультрафильтрационного аппарата спирального (рулонного) типа. Какова эффективность очистки по ВВ, НП, ионам железа?
15. Изобразите схему и опишите принцип действия обратноосмотической установки с полыми волокнами. Какова эффективность очистки по БПК, ХПК, ионам натрия?
16. Опишите область применения флотации. Какие виды флотации Вы знаете?
17. Приведите расчет флотационной установки.
18. Изобразите схемы флотационных установок.
19. Опишите область применения адсорбционных установок. Приведите их схемы.
20. Приведите схемы и опишите принцип действия аппаратов со спиральными фильтрующими элементами, с трубчатыми фильтрующими элементами, аппаратов типа «фильтр-пресс», аппаратов с мембранами в виде полых волокон.
21. Охарактеризуйте марки промышленных коагулянтов и флокулянтов. Приведите схему реагентного хозяйства.
22. Каким образом необходимо вводить реагенты (коагулянты и флокулянты) в поток сточных вод и почему?
23. Приведите характеристику ионообменных материалов. Изобразите схемы и опишите принцип действия ионообменных установок.
24. Приведите схемы многоступенчатой противоточной экстракции и непрерывной противоточной экстракции с регенерацией экстрагента из экстракта и рафината. Дайте необходимые пояснения.

25. Расскажите про применение десорбции, дегазации и дезодорации в практике очистки сточных вод.
26. Опишите электрохимические методы очистки производственных сточных вод. В каких случаях они применяются? Какова степень очистки?
27. Изобразите схему и приведите методику расчета электрофлоткоа-гуляционной установки.
28. Опишите способы нейтрализации: смешением, путем добавления реагентов, фильтрованием через нейтрализующие материалы и кислыми газами.
29. Перечислите окислители, применяемые для очистки сточных вод. Приведите пример применения одного из них.
30. Изобразите схему установки для очистки сточных вод озоном.
31. Опишите область применения процесса восстановления в очистке промстоков.

Тема 4. Методы и сооружения биологической очистки сточных вод.

Биологические методы очистки применяются для удаления многих растворенных органических и некоторых неорганических (сероводорода, сульфидов, аммиака, нитритов и др.) веществ. Процесс очистки основан на способности микроорганизмов использовать эти вещества для питания в процессе жизнедеятельности - органические вещества для микроорганизмов являются источником углерода. Биологическая очистка возможна, если отношение БПК/ХПК больше или равно 50%, сточные воды не содержат токсичных для микроорганизмов веществ. Применяется для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод и производственных сточных вод пищевых предприятий.

Биологические методы делятся на две группы: аэробные методы (сооружения: аэротенки, биофильтры, окситенки, биопруды, поля орошения, поля фильтрации), для их осуществления необходим постоянный приток кислорода и контроль температуры, и анаэробные методы (метантенки). При рассмотрении данных методов очистки, кроме рекомендуемой литературы, следует изучить соответствующие разделы СП 32.13330.2012 и ИТС 8-2015. В результате освоения темы студент должен иметь представление о сущности явлений, происходящих при биологической очистке стоков, знать основные конструкции существующих сооружений, уметь оценить возможность биологической очистки тех или иных сточных вод.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Приведите классификацию биологических методов очистки. Опишите требования к сточным водам, подлежащим данной обработке.
2. Изобразите схемы аэротенков. Опишите область их применения. Приведите количественные характеристики очищенных сточных вод.
3. Изобразите схемы и опишите принцип действия окситенков.
4. Изобразите схемы биофильтров. Опишите область их применения. Приведите количественные характеристики очищенных сточных вод.
10. Расскажите про поля орошения и поля фильтрации.
11. Дайте классификацию метантенков. Опишите область их применения.

Тема 6. Методы и оборудование для обеззараживания сточных вод

Обеззараживание (дезинфекцию) сточных вод производят с целью уничтожения

содержащихся в них патогенных бактерий и предохранения, таким образом, водоемов от заражения сбрасываемыми в них сточными водами. Из практики очистки сточных вод известно, что при первичном отстаивании количество бактерий группы кишечной палочки сокращается на 30-40%, а после вторичных отстойников на 90-95%. Для полного освобождения сточных вод от патогенных микроорганизмов и вирусов необходимо применение специальных методов обеззараживания.

Существуют следующие способы обеззараживания: хлорирование, ультрафиолетовое облучение, ультразвуковое воздействие, озонирование. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, осуществляется в сооружениях или установках.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Для чего необходимо производить обеззараживание сточных вод?
2. Перечислите способы обеззараживания сточных вод.
3. Что такое хлорирование? Какие реагенты применяются в практике обеззараживания сточных вод?
4. На каком этапе технологической схемы очистки сточных вод необходимо производить дезинфекцию?
5. Перечислите достоинства и недостатки озонирования.
6. Перечислите достоинства и недостатки ультрафиолетового облучения сточных вод.
7. Перечислите достоинства и недостатки ультразвукового обеззараживания сточных вод.

Тема 6. Оборудование для обезвреживания и утилизации осадков сточных вод

Общая классификация и характеристика методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод. Уплотнение, кондиционирование осадков сточных вод. Аэробная и анаэробная стабилизация осадков. Сбраживание осадков в метантенках. Обезвоживание, сушка, сжигание. Утилизация осадков сточных вод.

Вопросы и задачи для самопроверки

1. Для чего необходимо производить обезвреживание осадков сточных вод?
2. Перечислите способы обезвреживания и утилизации осадков сточных вод.
3. Что такое стабилизация осадков? Каким образом она осуществляется?
4. Как проводится аэробная и анаэробная стабилизация осадков?
5. Перечислите достоинства и недостатки сбраживания осадков в метантенках.
6. Опишите основные методы утилизации осадков сточных вод.

5. Методические рекомендации по подготовке обучающегося к промежуточной аттестации

Учебным планом по дисциплине «Аппараты и методы очистки сточных вод» предусмотрена(ы) следующая(ие) форма(ы) промежуточной аттестации : **экзамен**.

Промежуточная аттестация направлена на проверку конечных результатов освоения дисциплины.

При подготовке к экзамену целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

При повторении материала нежелательно использовать много книг. Основным источником подготовки к экзамену является конспект лекций. Следует запоминать термины и категории, поскольку в их определениях содержатся признаки, позволяющие уяснить их сущность и отличить эти понятия от других. В ходе подготовки обучающимся необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания категорий и реальных профильных проблем. Подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала. В этот период полезным может быть общение обучающихся с преподавателями по дисциплине на групповых и индивидуальных консультациях.

Подготовку по билету на экзамене надо начинать с того, что помнится лучше всего. Однако, готовясь по одному вопросу, на отдельном листе нужно постоянно кратко записывать и те моменты, которые «всплывают» в памяти и по другим вопросам билета.

Во время экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также, с разрешения экзаменатора, справочной литературой.

По окончании ответа экзаменатор может задать обучающемуся дополнительные и уточняющие вопросы.

Положительным будет стремление обучающегося изложить различные точки зрения на рассматриваемую проблему, выразить свое отношение к ней, применить теоретические знания по современным проблемам.