

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**
(БГТУ им В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ
Директор института ХТИ

 Яегребинский Р.Н.

«16» мая 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
Биологическая очистка и дезодорация газов

Направление подготовки (специальность):

19.03.01 – Биотехнология

Направленность программы (профиль, специализация):

Биотехнология

Квалификация:

бакалавр

Форма обучения

Очная

Институт Химико-технологический
Кафедра промышленной экологии

Белгород – 2022 г.

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 19.03.01 «Биотехнология» (уровень бакалавриата) приказ Минобрнауки РФ № 736 от 10.08.2021г.

▪ учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2022 году.

Составитель (составители): канд.техн.наук, доцент  (Токач Ю.Е.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

«28» апреля 2022 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой: д-р. техн. наук, проф.  (Свергузова С.В.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей(ими) кафедрой(ами)

_____ (наименование кафедры/кафедр)

Заведующий кафедрой: д-р. техн. наук, проф.  (Свергузова С.В.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

«28» апреля 2022 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией химико-технологического института

«16» мая 2022 г., протокол № 9

Председатель канд. техн. наук, доцент  (Л.А. Порожнюк)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 19.03.01 «Биотехнология» (уровень бакалавриата) приказ Минобрнауки РФ № 736 от 10.08.2021г.

▪ учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2022 году.

Составитель (составители): канд.техн.наук, доцент _____ (Токач Ю.Е.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 28 » апреля 2022 г., протокол № 8

Заведующий кафедрой: докт. техн. наук, проф. _____ (Свергузова С.В.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей(ими) кафедрой(ами) промышленной экологии

Заведующий кафедрой: докт. техн. наук, проф. _____ (Свергузова С.В.)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

« 28 » апреля 2022 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией химико-технологического института

« 16 » мая 2022 г., протокол № 9

Председатель канд. техн. наук, доцент _____ (Л.А. Порожнюк)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Профессиональная	ПК-2 Способен оценивать экологическую (биологическую) безопасность материалов, технологий и промышленных объектов; разрабатывать биологические технологии реабилитации земель, акваторий, атмосферы	ПК-2.2 Участвует в проведении работ по выявлению характера, степени нарушенности земель, загрязнения акваторий и воздуха; разрабатывает технологии проведения их биотехнологической реабилитации	В результате освоения дисциплины обучающийся должен Знать: систему идентификации и классификации промышленных выбросов в атмосферу; свойства и характеристики полидисперсных систем, методы анализа дисперсного состава механических загрязнений. Уметь: разрабатывать оптимальный технологический процесс обезвреживания промышленных выбросов заданного состава с требуемой эффективностью. Владеть: методами расчета конструктивных параметров аппаратов системы очистки, обеспечивающих требуемую эффективность улавливания (обезвреживания) загрязнений.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

- 1. Компетенция ПК-2 Способен оценивать экологическую (биологическую) безопасность материалов, технологий и промышленных объектов; разрабатывать биологические технологии реабилитации земель, акваторий, атмосферы**

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Экологический менеджмент и аудит биотехнологических производств
2	Биологические методы очистки сточных вод
3	Биологическая очистка и дезодорация газов
4	Биоремедиация техногенно нарушенных почв
5	Промышленная экология биотехнологических производств
6	Биоповреждение материалов
7	Технологии предотвращения биокоррозии
8	Производственная преддипломная практика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зач. единиц, 216 часов.

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки:

Форма промежуточной аттестации экзамен

(экзамен, дифференцированный зачет, зачет)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины, час	216	216
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	124	124
лекции	34	34
лабораторные	34	34
практические	51	51
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	5	5
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	92	92
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	36	36
Расчетно-графическое задание	-	-
Индивидуальное домашнее задание	-	-
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	20	20
Экзамен	36	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Наименование тем, их содержание и объем Курс 3 Семестр 6

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Промышленные аэрозоли. Классификация и общая характеристика аэродисперсных систем.					
	Источники образования промышленных аэрозолей. Нормативы качества атмосферного воздуха. Последствия загрязнения воздушной среды. Классификация и общая характеристика аэродисперсных систем. Основные свойства пыли и их определение.	6	12	6	5
2. Биохимические процессы, лежащие в основе биологической очистки газовой воздушной среды.					
	Биологические источники загрязнения атмосферного воздуха. Составы газовых смесей, подверженных биологической очистке. Биохимические процессы, лежащие в основе биологической очистки газовой воздушной среды. Биологические и физические закономерности улавливания и деградации токсичных соединений микроорганизмами. Микробные культуры для разложения и детоксикации загрязнителей воздушной среды. Очистка и дезодорация промышленных газов с помощью микроорганизмов. Классификация методов дезодорации отходящих газов с помощью микроорганизмов	10	12	10	5
3. Биотехнология очистки воздушной среды					
	Биореакторы для мокрой и сухой биоочистки воздуха. Применение биофильтров для очистки воздуха. Биосорбция. Применение биосорбентов для очистки воздуха. Почвенный метод биодезодорации газов. Биоскрубберы. Биоочистка газа в колоннах с перфорированными тарелками и регенерацией промывной воды. Газофазная обработка облучением газов ультрафиолетовыми лучами, введение в газ озона или специальных веществ, способных отражать, маскировать, блокировать восприятие неприятного запаха.	10	12	10	5
4. Биотопливо					
	Экологические характеристики биотоплива. Промышленное производство этанола.	8	15	8	5

	Микроорганизмы продуценты этанола. Утилизируемые субстраты. Образование водорода микроорганизмами. Промышленные сельскохозяйственные и бытовые отходы – сырье для производства биогаза.				
	ВСЕГО	34	51	34	20

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 6				
1	Промышленные аэрозоли. Классификация и общая характеристика аэродисперсных систем.	Определение выбросов загрязняющих веществ. Отбор проб загрязняющих веществ в промышленных выбросах. Предельно допустимые концентрации (ПДК).	12	1
2	Биохимические процессы, лежащие в основе биологической очистки газовоздушных выбросов.	Биологические методы очистки и дезодорации газовых выбросов. Оптимальные условия жизнедеятельности микроорганизмов активного ила. Биологические и физические закономерности улавливания и деградации токсичных соединений микроорганизмами.	12	2
3	Биотехнология очистки воздушной среды	Основные типы реакторов, их характеристика и перспективные направления усовершенствования.	12	1
4	Биотопливо	Источники энергии. Биометаногенез. Установки для получения биогаза	15	2
ИТОГО:			51	6
ВСЕГО:			51	6

4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во. часов	К-во часов СРС
семестр № 6				
1	Промышленные аэрозоли. Классификация и общая характеристика аэродисперсных систем.	Определение физических свойств пыли.	6	1
2	Биохимические процессы, лежащие в основе биологической очистки газовоздушных выбросов.	Обзор методов биологической дезодорации воздуха. Выделение и культивация полезных микроорганизмов. Исследование сырьевой базы для изготовления биофильтрационного материала. Биологический анализ активного ила.	10	2

3	Биотехнология очистки воздушной среды	Получение биофильтрующего материала. Очистка воздуха с использованием природных материалов и консорциума микроорганизмов выделенных из лесной почвы.	10	1
4	Биотопливо	Качественные характеристики сырья для получения биогаза. Альтернативное топливо. Получение этанола из продуктов растениеводства.	8	2
ИТОГО:			34	6
ВСЕГО:			34	6

4.4. Содержание курсового проекта/работы

Тема курсовой работы

Разработка технологической схемы биологической очистки газовых выбросов

Цель: Освоить расчетные методы определения вредных веществ, поступающих в окружающую среду, разработать технологическую схему дезодорации газовых выбросов.

Структура КР:

КР включает в себя следующие обязательные разделы:

1. Титульный лист.
2. Оглавление.

Оглавление включает наименование всех разделов и пунктов (если они имеют наименование) с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы. А также введение, заключение, список использованных источников с обязательным указанием номеров страниц. Оглавление должно иметь 2-х и 3-х уровневую структуру. Содержание работы должно строго соответствовать плану.

3. Введение.

Во введении должны быть приведены цели и задачи выбранной работы, обоснована актуальность изучаемой темы, определены объект и предмет исследования, сформулирована проблема исследования, отражены методы исследования, указаны сведения об объеме, количестве иллюстраций, таблиц.

4. Основная часть.

В основной части отражаются теоретические и практические исследования, расчеты обобщение результатов:

- Записать исходные данные в соответствии с вариантом.
- Сделать чертеж аппарата.
- Провести расчет оборудования в соответствии с методикой расчета.
- Сделать вывод об эффективности очистки.

Текст основной части КР может делиться на разделы, подразделы, пункты.

5. Заключение

Заключение должно содержать краткие обобщающие выводы ИДЗ, показана значимость работы, сформулирована собственная позиция по исследуемому вопросу и предложены рекомендации.

6. Список литературы

Все источники, использованные в работе над РГЗ, включаются в список литературы. Содержание списка литературы позволяет судить о степени научности и фундаментальности проведенного исследования.

Типовой пример

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗА

Введение

Биологическая очистка (биофильтрация) газа, содержащего низкие и средние концентрации загрязняющих веществ, в частности летучие органические соединения, до 5000 мг/м^3 , при сравнении с альтернативными газоочистными методами (абсорбция, адсорбция, термическое и каталитическое обезвреживания, озонирование) обладает меньшими на порядок капитальными и эксплуатационными затратами. При этом метод биологической очистки газа не продуцирует вторичные загрязнения и является экологически безопасным, поскольку микроорганизмы могут окислять органические загрязняющие вещества, используемые ими в качестве субстрата, вплоть до углекислого газа и паров воды.

Однако широкого распространения на предприятиях России в качестве газоочистной системы биофильтрация не получила. В основном это связано с тем, что имеющиеся научно-технические достижения в этой области используются в странах ЕС, отличающихся более мягким климатом, в виде насыпных биофильтров с загрузкой (насадкой) природного происхождения: торф, опилки, куски коры, компост и т.п. Использование таких биофильтров, отличающихся малой производительностью и устроенных чаще на улице в виде открытой площадки для возможности формирования активного микробного сообщества естественным путем, на предприятиях России трудноосуществимо. При этом насадки природного происхождения обладают рядом недостатков: слеживаются с течением времени, что приводит к повышению гидравлического сопротивления и проскокам неочищенного газа, а также в связи с собственной биоактивностью могут служить средой обитания для микроорганизмов, являющихся антагонистами к активной биомассе, что снижает эффективность процесса биофильтрации. Но в связи с развитием способов и механизмов иммобилизации микроорганизмов на поверхность насадок из искусственных материалов, обладающих высокоразвитой поверхностью, например, пенополиуретан, полиамид, поддержание их жизнедеятельности способствовало развитию и появлению новых биофильтрационных насадочных аппаратов с орошаемым слоем и системой поддержания активности микроорганизмов.

Механизм процесса биофильтрации

Механизм процесса биофильтрации описывается переносом загрязняющего вещества (**ЗВ**) из газовой в жидкую фазу, затем процессом адсорбции в клетку и/или поверхность насадки. Отдельно рассматривается процесс биодеградации. В целом такой подход может быть описан рядом последовательных процессов, происходящих с ЗВ в фазах, присутствующих в системе. Однако при использовании инертной насадки, не обладающей хемосорбционными свойствами, стадия адсорбции может не учитываться в процессе биофильтрации.

Гидродинамические и массообменные характеристики процесса биофильтрации выделяют две основные фазы: подвижную газовую; неподвижную – влажную биопленку. Наличие пленки жидкости на насадке с биопленкой уменьшает эффективность процесса биофильтрации, поскольку пленка жидкости представляет собой дополнительный барьер, который необходимо преодолеть диффундирующему ЗВ из газовой фазы через жидкую к биопленке. При этом жидкость необходима для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов.

В этой связи механизм переноса ЗВ может быть описан методами массопереноса.

Внутри биопленки главную роль играет диффузия или скорость биодеградации.

На рисунке 1 представлена схема механизмов процесса биофильтрации.

I – фаза прикрепления микроорганизмов к поверхности насадки; II – образование и фаза роста биопленки; 1 – диффузия ЗВ в газовой фазе (не лимитирует процесс); 2 – переход ЗВ из газовой фазы во влажную биопленку (может лимитироваться 2.1 – 2.4): 2.1 – диффузия ЗВ во влажной биопленке к клеткам; 2.2 – биодеструкция ЗВ клетками; 2.3 – вывод продуктов жизнедеятельности клеток во влажную биопленку; 2.4 – выход продуктов жизнедеятельности микроорганизмов в окружающую среду; 3 – адсорбция ЗВ на поверхности инертных насадок отсутствует или пренебрежимо мала.



Рис. 1. Иерархическая модель механизмов процесса биофильтрации

Механизм процесса биофильтрации запишем уравнением для расчета количества ЗВ, прошедшего через насадочный слой и подвергнутого биодеградации, используя основное уравнение массопередачи и уравнение Михаэлиса–Ментен, соответственно. Количество ЗВ M , кг/с, переносимого из газовой фазы во влажную биопленку (к микроорганизмам), можно записать уравнением:

$$M = K_r F \Delta C_{cp}, \quad (1)$$

где K_r – коэффициент массопередачи, выраженный через концентрацию газовой фазы, м/с; F – поверхность контакта фаз, м²; ΔC_{cp} – движущая сила процесса массопереноса, г/м³.

Количество ЗВ, подвергнувшегося деструкции в биопленке со скоростью биодеградации:

$$R = \frac{D_{\text{био}}}{W_{\Gamma}} W_{\text{био}} F \quad (2)$$

$$W_{\text{био}} = kX_{\text{био}} \frac{C_{\text{био}}}{K_{\text{м}} + C_{\text{био}}} F \quad (3)$$

где $D_{\text{био}}$ – коэффициент диффузии ЗВ в биопленке, $\text{м}^2/\text{с}$; $W_{\text{био}}$ – скорость биодеградации ЗВ в биопленке, $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; W_{Γ} – скорость газового потока, $\text{м}/\text{с}$; $C_{\text{био}}$ – концентрация ЗВ в биопленке, $\text{г}/\text{м}^3$; $K_{\text{м}}$ – константа Михаэлиса–Ментен, $\text{г}/\text{м}^3$; k – константа скорости биодеградации, $1/\text{с}$; $X_{\text{био}}$ – концентрация биомассы, $\text{г}/\text{м}^3$.

В уравнении (1) коэффициент массопередачи при использовании положения аддитивности фазовых сопротивлений в соответствии со стадийностью процесса биофильтрации может быть записан уравнением.

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{\beta_{\Gamma}} + \frac{m}{\beta_{\text{ж}}} + \frac{1}{\beta_{\text{био}}} \quad (4)$$

Где $\frac{1}{\beta_{\Gamma}}$, $\frac{m}{\beta_{\text{ж}}}$, $\frac{1}{\beta_{\text{био}}}$ – сопротивление массоотдаче в газовой фазе (не лимитирует процесс биофильтрации), в жидкой фазе (пленка жидкости в модели процесса биофильтрации отсутствует, поскольку биопленка полностью смачивается) и во влажной биопленке соответственно, $\text{м}/\text{с}$; m – коэффициент распределения.

Микроорганизмы находятся на границе раздела фаз, при этом равновесие в системе не достигается в связи с постоянным поглощением ЗВ микроорганизмами. Тем самым движущая сила процесса массоотдачи может быть определена средней концентрацией ЗВ в газовой фазе и процесс биофильтрации может быть описан как поглощение ЗВ влажной биопленкой с микроорганизмами, лимитируемое стадией биодеградации, то есть значением коэффициента массоотдачи во влажной биопленке $\beta_{\text{био}}$, $\text{м}/\text{с}$, которое может быть рассчитано следующим образом:

при лимитировании биодеградации скоростью реакции нулевой степени

$$\beta_{\text{био}} = \delta_{\text{био}} k_0 / C_{\text{био}}, \quad (5)$$

где k_0 – константа скорости нулевой степени – максимальная скорость биодеградации, $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; $\delta_{\text{био}}$ – толщина биопленки, м ;

– при лимитировании биодеградации скоростью реакции первой степени

$$\beta_{\text{био}} = \delta_{\text{био}} k_1, \quad (6)$$

где k_1 – кажущаяся кинетическая константа, $1/\text{с}$;

– при лимитировании биодеградации диффузией ЗВ в биопленке

$$\beta_{\text{био}} = D_{\text{био}} \delta_{\text{био}} \quad (7)$$

Процесс лимитирован стадией биодеградации, поскольку коэффициенты массоотдачи в газовой и жидкой фазах на несколько порядков больше скорости биодеградации.

Модель процесса биофильтрации газовой смеси,
содержащей дихлорметан

На рисунке 2 представлена схема процессов модели. Структура модели процесса биофильтрации представлена системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dC_{\text{возд}}^{\text{ДХМ}}}{dt} = W_1 - \text{изменение концентрации ДХМ в очищаемом потоке воздуха};$$

$$\frac{dC_{\text{возд}}^{\text{ДХМ}}}{dt} = W_2 - \text{изменение концентрации ДХМ в клетках микроорганизмов} \\ - \text{деструкторов (МД)};$$

$$\frac{dC_{\text{био}}^{\text{форм}}}{dt} = W_2 - W_3 - W_4 - \text{изменение концентрации формальдегида в клетках МД}$$

$$\frac{dC_{\text{био}}^{\text{HCl}}}{dt} = 2W_2 - W_5 - \text{изменение концентрации соляной кислоты в клетках МД}$$

$$\frac{dC_{\text{био}}^{\text{формиат}}}{dt} = W_3 - W_6 - \text{изменение концентрации формиата в клетках МД}$$

$$\frac{dC_{\text{среда}}^{\text{HCl}}}{dt} = W_7 - \text{изменение концентрации соляной кислоты во влажной биопленке}$$

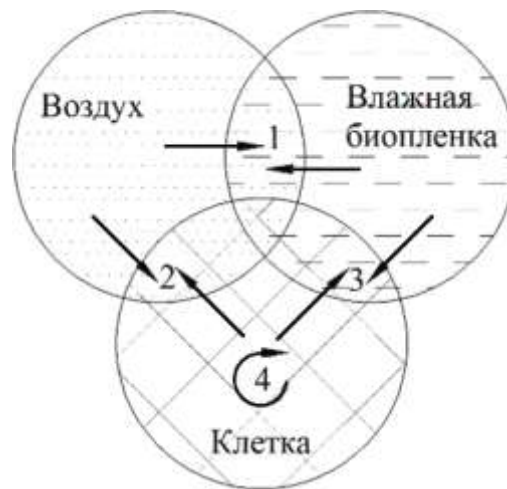


Рис. 2. Схема модели процесса биофильтрации при обмене веществами между:

1 – газовой фазой и влажной биопленкой; 2 – влажной биопленкой и клетками микроорганизмов; 3 – клетками и окружающей средой; 4 – реакция биодеградации в клетках

Уравнения скоростей процессов составлены в соответствии с законом действующих масс: $W_1 = K_1 C_{\text{возд}}^{\text{ДХМ}}$ – скорость перехода количества ДХМ из

$$W_2 = \frac{(W_{\text{max}}^{\text{форм}} C_{\text{био}}^{\text{ДХМ}})}{(K_M + C_{\text{био}}^{\text{ДХМ}}) F_{pH}}$$

воздуха во влажную биопленку; – скорость работы фермента в соответствии с уравнением Михаэлиса–Ментен с учетом влияния рН-фактора; $W_2 = k_3 C_{\text{био}}^{\text{форм}}$ – скорость получения формиата из формальдегида; $W_4 = k_4 C_{\text{био}}^{\text{форм}}$ – скорость ассимиляции формальдегида;

$W_5 = k_5 C_{\text{био}}^{\text{HCl}}$ – скорость вывода соляной кислоты из клетки; $W_6 = k_6 C_{\text{био}}^{\text{формат}}$ – скорость ассимиляции формата; $W_7 = W_5 - k_7 C_{\text{среда}}^{\text{HCl}}$ – скорость вывода соляной кислоты в окружающую среду;

Количество переносимого вещества во влажную биопленку:

$$M = W_1 V_{\text{возд}} t_d$$

количество вещества, подвергнувшегося биодеструкции

$$R = W_2 V_{\text{био}} t_p,$$

где $V_{\text{возд}}$ – объем газовой фазы, м^3 ; $V_{\text{био}}$ – объем биопленки, м^3 ; t_p – расчетное время биодegradации, с; t_d – необходимое время перехода вещества из газовой фазы к клеткам в биопленке (время диффузии), с. Решение предлагаемой системы уравнений осуществляется с помощью пакета компьютерных программ DBSolve Optium и Model Creator. Результаты численных экспериментов представлены на рис. 4 в виде зависимости эффективности очистки газовой смеси от ДХМ от времени работы биофильтра, а также при изменении скорости газового потока.

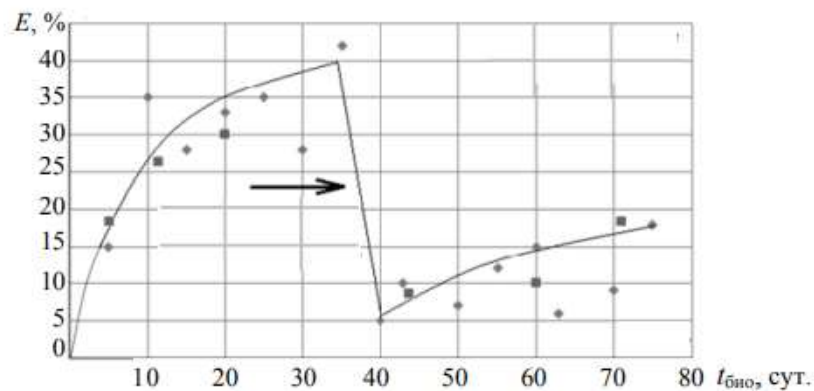


Рис. 4. Сравнение экспериментальных значений эффективности очистки с модельными при изменении скорости газового потока с 0,005 до 0,15 м/с: \diamond – экспериментальные точки; \square – моделирование

Методика расчета

Предлагаемая в данной работе по результатам анализа литературы и моделирования методика инженерного расчета (рис. 5) основана на сравнении количества вещества M , $\text{г}/(\text{м}^3 \text{ с})$, прошедшего через насадочный слой биофильтра, и количества вещества R , $\text{г}/(\text{м}^3 \text{ с})$, подвергнувшегося биодеструкции. Количество $ЗВ$, которое пройдет через насадочный слой при заданной эффективности очистки и производительности биофильтра M . Количество $ЗВ$ из потока M , которое будет усвоено микроорганизмами посредством ферментативной реакции в клетках R . В таком случае, при $M = R$ производительность биофильтра при заданном времени пребывания загрязняющего вещества в насадочном слое соответствует биодеструкционной способности микроорганизмов, находящихся на поверхности насадки. При $M < R$ биодеструкционная способность микроорганизмов позволяет увеличивать количество загрязняющих веществ в газовом потоке без уменьшения

эффективности очистки. Это означает, что можно уменьшить объем насадочного слоя и/или уменьшить время пребывания загрязняющих веществ в насадочном слое, тем самым уменьшить габариты биофильтра или увеличить производительность биофильтра.

При $M > R$ количества микроорганизмов (фермента) не хватает для очистки газа при заданной эффективности. В этом случае необходимо увеличить удельную поверхность насадочного слоя, что в свою очередь увеличит количество образовавшейся биомассы и потенциально увеличит количество фермента, необходимого для осуществления реакции окисления ЗВ. Также возможно увеличить время пребывания, что приведет к снижению производительности, или увеличить габариты биофильтра. Сопротивление насадочного биофильтра изменяется со временем, что связано с развитием биомассы и зарастанием свободных каналов насадочного слоя. Расчет гидравлического сопротивления биофильтра можно проводить по уравнениям, предложенным в алгоритме (рис. 5)

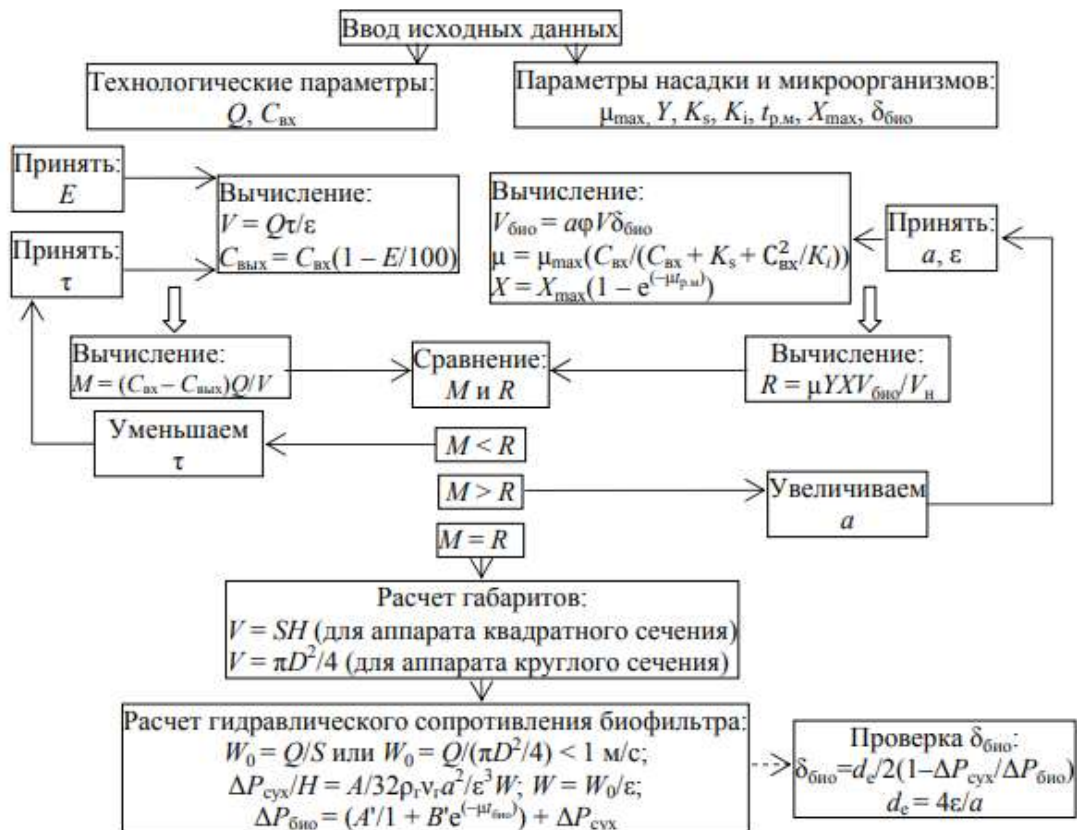
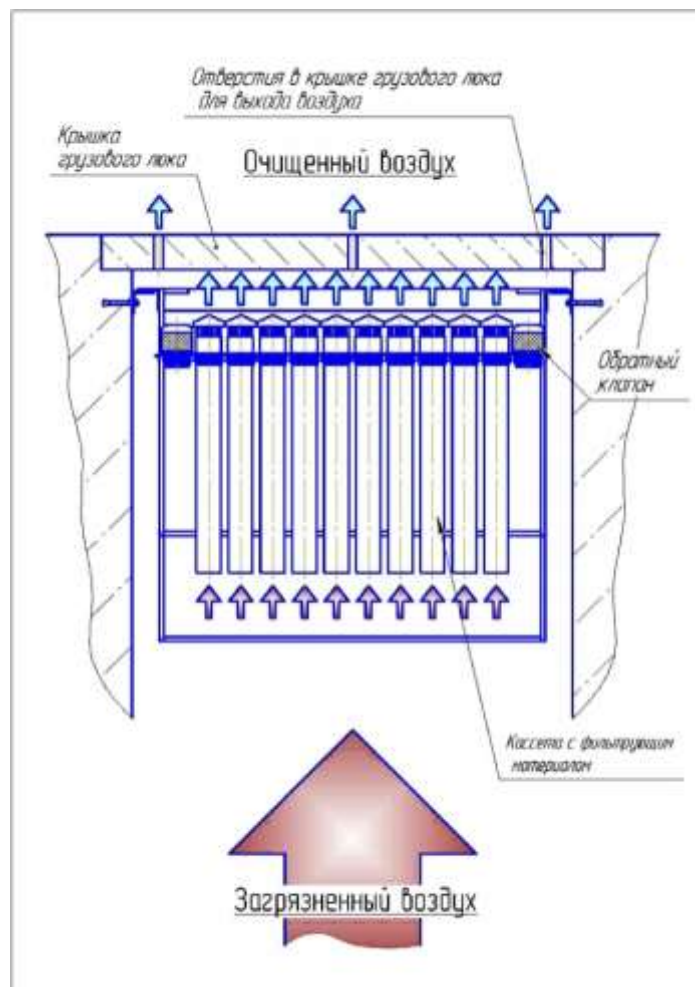


Рис. 5. Алгоритм инженерного расчета биофильтра

Обозначения к алгоритму расчета (рис. 5): Q – расход очищаемых выбросов, $\text{м}^3/\text{ч}$; $C_{\text{вх}}$ – концентрация загрязнителя на входе в биофильтр, $\text{г}/\text{м}^3$; $C_{\text{вых}}$ – концентрация загрязнителя на выходе из биофильтра, $\text{г}/\text{м}^3$; μ_{max} – максимальная удельная скорость роста, ч^{-1} ; Y – выход биомассы по субстрату, $\text{г}/\text{г}$; K_i – константа субстратного ингибирования, $\text{г}/\text{м}^3$; K_s – константа полунасыщения, $\text{г}/\text{м}^3$; $t_{p.m}$ – время роста микроорганизмов, ч ; X_{max} – максимальная концентрация активной биомассы, $\text{кг}/\text{м}^3$; E – эффективность очистки, $\%$; a – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$; ϵ – порозность насадочного слоя, $\text{м}^3/\text{м}^3$; d_e – эквивалентный диаметр насадки, м ; τ – время пребывания очищаемого воздуха в

слое насадки биофильтра, с; V_n – объем биофильтра (насадочного слоя), m^3 ; M – количество переданного вещества через слой насадки, $г/(ч \cdot m^3)$; $V_{био}$ – объем биопленки, m^3 ; φ – коэффициент обрастания насадки; $\delta_{био}$ – толщина биопленки, м; R – количество вещества подвергнутое биодеструкции, $г/(ч \cdot m^3)$; X – концентрация биомассы, $кг/m^3$; μ – удельная скорость роста микроорганизмов, $ч^{-1}$; S – сечение корпуса биофильтра, m^2 ; D – диаметр биофильтра, м; H – высота насадочного слоя, м; $\Delta P_{сух}$ – гидравлическое сопротивление сухого насадочного слоя, Па; $\Delta P_{био}$ – гидравлическое сопротивление насадки, обросшей биопленкой, Па; ν_g – кинематическая вязкость газа, $Па \cdot с$; ρ_g – плотность газа, $кг/m^3$; W_0 – фиктивная скорость газа, м/с; A, B – коэффициенты; $t_{био}$ – время работы биофильтра, сут.



Заключение

Микроорганизмы разных родов обладают различными свойствами и поведением, что затрудняет обобщение. Биофильтры рассчитываются эмпирически на базе проведения серии предпромышленных экспериментов, что удорожает проектирование. Поэтому моделирование процесса биофильтрации в целях получения достоверных методик расчета аппаратов является актуальной задачей, требующей внимания.

4.5. Содержание расчетно-графического задания

Не предусмотрено учебным планом

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1 Компетенция ПК-2 Способен оценивать экологическую (биологическую) безопасность материалов, технологий и промышленных объектов; разрабатывать биологические технологии реабилитации земель, акваторий, атмосферы
(код и формулировка компетенции)

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-2.2 Участвует в проведении работ по выявлению характера, степени нарушенности земель, загрязнения акваторий и воздуха; разрабатывает технологии проведения их биотехнологической реабилитации	Тестирование, экзамен

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена

Компетенция ПК-2 Способен оценивать экологическую (биологическую) безопасность материалов, технологий и промышленных объектов; разрабатывать биологические технологии реабилитации земель, акваторий, атмосферы

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Промышленные аэрозоли. Классификация и общая характеристика аэродисперсных систем.	1. Влияние дымово-газовых выбросов на живые системы. 2. Загрязнение воздуха и его последствия. Современное состояние воздушного бассейна? 3. Понятия пыли и других видов аэрозолей? 4. Классификация аэродисперсных систем? 5. Основные свойства пыли и их определение? 6. Понятие о предельно допустимой концентрациях (ПДК). Виды ПДК
2	Биохимические процессы, лежащие в основе биологической очистки газовоздушных выбросов.	7. Что такое обеззараживание газовоздушных выбросов. 8. Что такое дезодорация газовоздушных выбросов и для чего она производится. 9. От каких факторов зависит выбор метода очистки газовых выбросов. 10. На чем основана биосорбционная дезодорация 11. В чем заключается метод озонирования 12. В каких случаях применяют комбинированные методы дезодорации и обеззараживания газовоздушных выбросов. 13. Составы газовых смесей, подверженных биологической очистке. 14. Биохимические процессы, лежащие в основе биологической очистки газовоздушных выбросов. 15. Биологические и физические закономерности улавливания и деградации токсичных соединений микроорганизмами. 16. Микробные культуры для разложения и детоксикации

		<p>загрязнителей воздушной среды.</p> <p>17. Очистка и дезодорация промышленных газов с помощью микроорганизмов.</p> <p>18. Классификация методов дезодорации отходящих газов с помощью микроорганизмов.</p> <p>19. Преимущества биотехнологических методов перед другими методами очищения окружающей среды от загрязнения.</p> <p>20. Аппаратура и оборудование в биотехнологических методах.</p> <p>21. Растения и их роль в очистке газовых выбросов.</p>
3	Биотехнология очистки воздушной среды	<p>22. Биологическая очистка и дезодорация газовоздушных выбросов.</p> <p>23. Микробиологические методы дезодорации газов.</p> <p>24. Очистка газовоздушных выбросов с использованием иммобилизованных микроорганизмов от углекислого газа, дезодорация выбросов от сернистого газа, сероводорода, аммиака и др.</p> <p>25. Биореакторы для мокрой и сухой биоочистки воздуха.</p> <p>26. Применение биофильтров для очистки воздуха. 21. Биосорбция. Применение биосорбентов для очистки воздуха.</p> <p>27. Почвенный метод биодезодорации газов.</p> <p>28. Биоочистка газа в колоннах с перфорированными тарелками и регенерацией промывной воды.</p> <p>29. Газофазная обработка облучением газов ультрафиолетовыми лучами, введение в газ озона или специальных веществ, способных отражать, маскировать, блокировать восприятие неприятного запаха.</p>
4	Биотопливо	<p>30. Биоконверсия органических веществ в тепловую энергию и топливо. Получение биогаза.</p> <p>31. Биодеструкция полимеров и материалов естественного и искусственного происхождения.</p> <p>32. Экологические характеристики биотоплива.</p> <p>33. Промышленное производство этанола.</p> <p>34. Микроорганизмы продуценты этанола.</p> <p>35. Утилизируемые субстраты.</p> <p>36. Образование водорода микроорганизмами.</p> <p>37. Промышленные сельскохозяйственные и бытовые отходы – сырье для производства биогаза.</p>

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Компетенция ПК-2 Способен оценивать экологическую (биологическую) безопасность материалов, технологий и промышленных объектов; разрабатывать биологические технологии реабилитации земель, акваторий, атмосферы

1. Нижний основной слой атмосферы, содержащий более 4/5 всей массы атмосферного воздуха.
 - а) термосфера;
 - б) стратосфера;
 - в) тропосфера;
 - г) экзосфера.
2. Что не относится к источникам загрязнения атмосферы?
 - а) лесные пожары
 - б) пыльные бури
 - в) процессы выветривания
 - г) углекислый газ
3. Что такое парниковый эффект:
 - а) повышение температура нижних слоев атмосферы
 - б) понижение и загрязнение атмосферы
 - в) конденсация воды при выращивании растений в теплице
4. Проблема какого масштаба «парниковый эффект»:
 - а) локального
 - б) регионального
 - в) национального
 - г) глобального
5. На что влияет загрязнение атмосферы:
 - а) на способность растений усваивать углекислый газ
 - б) на направление господствующих ветров
 - в) количество осадков
6. На какой высоте расположен защищающий все живое от радиационного и ультрафиолетового воздействия озоновый слой:
 - а) от 20 до 25 км
 - б) от 25 до 30 км
 - в) от 30 до 35 км
 - г) от 35 до 40 км

7. Аэродисперсная система, включающая твердые частицы размером от 5 до 50 мкм:

- а) пыли;
- б) туманы;
- в) дымы;
- г) возгоны.

8. Плотность пыли, учитывающая объем открытых и закрытых пор:

- а) истинная;
- б) кажущаяся;
- в) объемная;
- г) насыпная.

9. Адгезионные свойства частиц определяют их склонность к:

- а) слипанию;
- б) сыпучести;
- в) смачиваемости;
- г) истиранию стенок аппарата.

10. Пыль, обладающая наибольшим показателем прочности пылевого слоя на разрыв:

- а) коксовая пыль ($d_{\max} = 40$ мкм);
- б) торфяная пыль ($d_{\max} = 20$ мкм);
- в) глиноземная пыль;
- г) цементная пыль ($d_{\max} = 25$ мкм);
- д) коксовая пыль ($d_{\max} = 10$ мкм).

11. Показатель, увеличение которого приводит к уменьшению величины удельного электрического сопротивления слоя пыли:

- а) влажность слоя пыли;
- б) диаметр частиц;
- в) температура газа;
- г) объем газа.

12. Удельная поверхность с увеличением диаметра частиц:

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) остается неизменной, так как зависит от химической природы пыли.

13. Полидисперсные частицы, имеющие неправильную форму, образующиеся при измельчении твердых и жидких веществ:

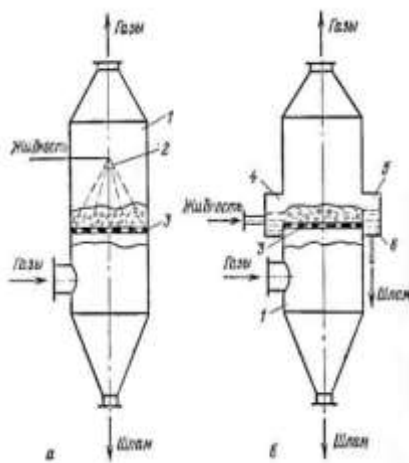
- а) конденсационные аэрозоли;
- б) туманы;
- в) золи.

14. Какими показателями регламентируется состояние атмосферного воздуха.
- а) ПДК_{м.р.} и ПДК_{р.з.}
 - б) ПДК_{с.с.} и ПДК_{м.р.}
 - в) ПДК_{м.р.} и ПДК_{с.с.}
 - г) Все варианты правильные.
15. ПДК_{м.р.} регламентирует содержание вещества в воздухе при вдыхании его в течение какого времени?
- а) 0,5 часа
 - б) В течение рабочей смены
 - в) В течение суток
 - г) В зависимости от производства
16. За счет чего достигается пылеулавливающий эффект в фильтрационных пылеуловителях ?
- а) За счет удара газового потока о поверхность жидкости
 - б) За счет движения очищаемого газа через слой шаров находящихся в жидкости
 - в) За счет перемешивания пылевоздушного потока с орошающей жидкостью
 - г) За счет тангенциального подвода очищаемых газов и пленочного орошения
 - д) За счет движения очищаемого газа через слой пористого материала
17. Для какой очистки газов обычно применяются прямоточные циклоны ?
- а) Для очистки газов от древесно-стружечной пыли
 - б) Для очистки газов от волокнистой пыли
 - в) Для очистки газов от слипающихся пылей
 - г) Для очистки газов от плохо смачиваемой пыли
 - д) Для предварительной очистки газов
18. От чего зависят применяемые методы для очистки воздуха от пылевых и газообразных загрязнителей и требуемая эффективность очистки?
- а) От физико-химических свойств самих примесей, от конструктивного решения устройств, применяемых для очистки и концентрации примесей
 - б) От состава и активности реагентов и концентрации примесей
 - в) От физико-химических свойств самих примесей, от состава и активности реагентов и от конструктивного решения устройств, применяемых для очистки
 - г) От физико-химических свойств самих примесей и их концентрации
 - д) От физико-химических свойств самих примесей, от состава и активности реагентов, от конструктивного решения устройств, применяемых для очистки и концентрации примесей
19. Какие аппараты позволяют производить одновременную очистку от твердых частиц и газообразных примесей?
- а) Полые (скрубберы) и насадочные газопромыватели
 - б) Пылеосадительных примесей
 - в) Жалюзийный пылеуловители
 - г) Инерционные пылеуловители
 - д) Циклоны

Типовые примеры расчетов на практических занятиях

Компетенция ПК-2 Способен оценивать экологическую (биологическую) безопасность материалов, технологий и промышленных объектов; разрабатывать биологические технологии реабилитации земель, акваторий, атмосферы

Исходные данные для расчета пенного аппарата



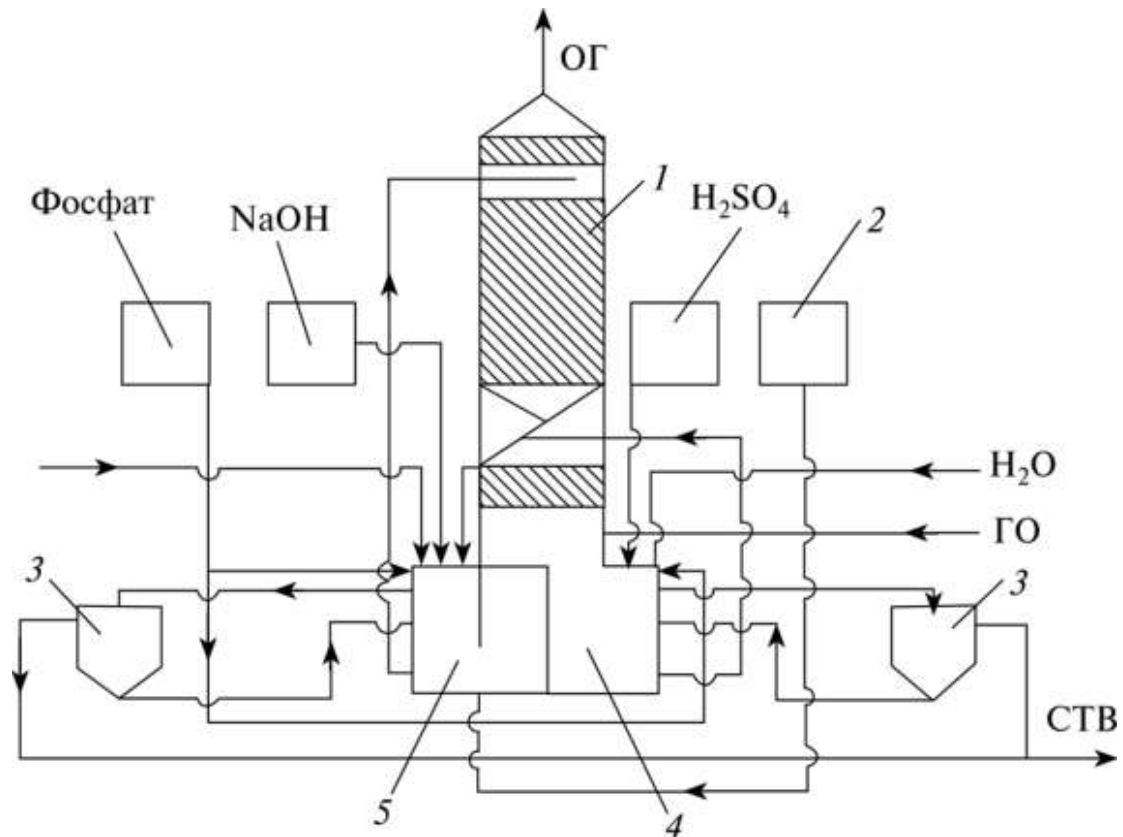
Пенные пылеуловители:

a – с провальной решеткой; *б* – с переливной решеткой; 1 – корпус;
2 – оросительное устройство; 3 – тарелка; 4 – приемная коробка; 5 – порог;
6 – сливная коробка

Вариант	Расход газа, Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Начальная концентрация пыли в газе, C_n , $\text{кг}/\text{м}^3$	Концентрация пыли в утке, x_y , $\text{кг}/\text{кг}$	Эффектив- ность очист- ки, η
1	10 000	0,0040	0,10	0,98
2	10 500	0,0042	0,10	0,98
3	11 000	0,0044	0,10	0,98
4	11 500	0,0046	0,10	0,98
5	12 000	0,0048	0,10	0,98
6	12 500	0,0050	0,12	0,97
7	13 000	0,0052	0,12	0,97
8	13 500	0,0054	0,12	0,97
9	14 000	0,0056	0,12	0,97
10	14 500	0,0058	0,12	0,97
11	15 000	0,0060	0,14	0,96
12	15 500	0,0062	0,14	0,96
13	16 000	0,0064	0,14	0,96
14	16 500	0,0066	0,14	0,96
15	17 000	0,0068	0,14	0,96
16	17 500	0,0070	0,16	0,95
17	18 000	0,0072	0,16	0,95
18	18 500	0,0074	0,16	0,95
19	19 000	0,0076	0,16	0,95
20	19 500	0,0078	0,16	0,95

Для всех вариантов: температура газа 60°C .

Биоскрубберная установка газоочистки отходящих газов



- 1 - насадочный абсорбер; 2 - емкость для питательных веществ;
 3 - отстойники; 4 - емкость кислотной обработки;
 5 - емкость щелочной обработки

Отходящий газ поступает на очистку в двухступенчатый насадочный абсорбер 1, первая ступень которого орошается слабокислой суспензией активного ила и предназначена для улавливания основных органических и неорганических примесей, а вторая ступень орошается слабощелочной суспензией активного ила. рН среды регулируют автоматическим добавлением 20%-го раствора серной кислоты или гидроксида натрия. На обеих ступенях поглотитель подпитывают фосфатом. Для компенсации потерь воды при испарении подают свежую воду в объеме 0,2—1,2 м³/ч. В отстойники 3 из скруббера поступает 0,2 м³/ч суспензии активного ила, из которых 0,1 м³/ч возвращают на установку. Часть осветленной жидкости постоянно сбрасывают, чтобы предотвратить накопление солей, угнетающих развитие микроорганизмов. В нерабочие периоды активный ил подпитывают конденсатом с содержанием 9000 мг БПК, аэрацию осуществляют вентилятором.

Техническая характеристика установки:

производительность, м ³ /ч.....	40 000
температура газа, °С.....	35
продолжительность контакта, с.....	4
рН поглотителя:	
первая ступень.....	5—6
вторая ступень.....	8—9
расход, кг/ч:	

H ₂ SO ₄ (100%-й).....	2,0
NaOH(100%-го).....	0,1
содержание веществ в осветленной части поглотителя, мг O ₂ /л:	
ХПК.....	20-40
БПК.....	5-10
гидравлическое сопротивление, Па.....	1200
удельный расход электроэнергии, кВт • ч/м ³	1,6 • 10 ⁻³

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знать нормативно-правовую базу в области охраны окружающей среды и защиты атмосферы. Средства повышения безопасности и экологичности технических средств и технологических процессов применительно к сфере своей профессиональной деятельности.
Умения	Ориентироваться в современных процессах и техническом обеспечении защиты атмосферы. Разрабатывать мероприятия по повышению инженерной защиты окружающей среды и экологичности производственной деятельности; оценивать эффективность средств инженерной защиты в процессе их эксплуатации в производственной деятельности.
Навыки	Навыками рационализации профессиональной деятельности с целью обеспечения инженерной защиты окружающей среды, производить измерения и обрабатывать результаты измерения параметров, концентраций вредных веществ.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знать нормативно-правовую базу в области охраны окружающей среды и защиты атмосферы.	Частично знает способы и технику защиты человека и окружающей среды от антропогенного воздействия	Знает способы и технику защиты человека и окружающей среды от антропогенного воздействия	Знает способы и технику защиты человека и окружающей среды от антропогенного воздействия, частично знает методы и технику	Знает способы и технику защиты человека и окружающей среды от антропогенного воздействия; методы и технику

			обеспечения комфортных условий жизнедеятельности	обеспечения комфортных условий жизнедеятельности
Средства повышения безопасности и экологичности технических средств и технологических процессов применительно к сфере своей профессиональной деятельности	Знания частичные. Частично может анализировать, выбирать системы и методы защиты среды обитания	Может анализировать, выбирать системы и методы защиты среды обитания	Может анализировать, выбирать системы и методы защиты среды обитания, частично может разрабатывать и эксплуатировать системы и методы защиты среды обитания	Может анализировать, выбирать, разрабатывать и эксплуатировать системы и методы защиты среды обитания

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Ориентироваться в современных процессах и техническом обеспечении защиты атмосферы.	Частично ориентируется в современных процессах и техническом обеспечении защиты атмосферы.	Имеются достаточно существенные замечания и недостатки, требующие значительных затрат времени на исправление. Умение сформировано на минимально допустимом уровне	Разрабатывать мероприятия по повышению инженерной защиты окружающей среды и экологичности производственной деятельности; оценивать эффективность средств инженерной защиты в процессе их эксплуатации в производственной деятельности, но допускает неточности.	Ориентируется в современных процессах и техническом обеспечении защиты атмосферы. Умение сформировано полностью
Разрабатывать мероприятия по повышению инженерной защиты окружающей среды и экологичности производственной деятельности; оценивать	Результат, содержащий неполный правильный ответ или ответ, содержащий значительные неточности (при ответе допущена существенная	Имеются достаточно существенные замечания и недостатки, требующие значительных затрат времени на исправление. Умение сформировано	Может анализировать, выбирать системы и методы защиты среды обитания, частично может разрабатывать и эксплуатировать системы и методы защиты среды	Умение сформировано полностью. Умеет разрабатывать мероприятия по повышению инженерной защиты окружающей среды и экологичности

эффективность средств инженерной защиты в процессе их эксплуатации в производственной деятельности.	ошибка, или в ответе содержится 30 - 60% необходимых сведений, ответ несвязный	на минимально допустимом уровне	обитания	производственной деятельности; оценивать эффективность средств инженерной защиты в процессе их эксплуатации в производственной деятельности.
---	--	---------------------------------	----------	--

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Навыками рационализации профессиональной деятельности с целью обеспечения инженерной защиты окружающей среды, производить измерения и обрабатывать результаты измерения параметров, концентраций вредных веществ.	Компетенции не сформированы. Навыки не сформированы.	Испытывает затруднения в применении теории при выполнении практических задач; обосновании полученных результатов.	Правильно применяет полученные знания при выполнении, обосновании решений и защите заданий. Грамотно применяет методики выполнения практических работ и алгоритм решения практических задач.	Навык сформирован полностью. Владеет навыками рационализации профессиональной деятельности с целью обеспечения инженерной защиты окружающей среды, производить измерения и обрабатывать результаты измерения параметров, концентраций вредных веществ.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№ п/п.	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Зал электронных ресурсов, здание библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника подключенная к сети «Интернет» в количестве 10 шт. и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.
2	Читальный зал учебной литературы, здание библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду.
3	Методический кабинет	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук
4	Учебная лаборатория для проведения лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля	Специализированная мебель, аквадистиллятор мед., весы ВЛ-120, 1 кл, весы SK-10000WP, дробилка трехвалковая, анализатор «Эксперт 001», иономер И-500 базовый, иономер лабораторный И-160, колба нагреватель ES-4100-3, мешалка ES-6120, мешалка МР-25, печь муфельная ПМ-14М, печь муфельная LOIP LF-7/13G2, прибор КФК-2, рН-метр рН-150М, стерилизатор ВК-30, термостат, устройство перемешивающее LS-110, УГ-2, фотометр КФК-3-01, фотоэлектроколориметр АРЕL-101, центрифуга лабор. ОПН-3, шкаф сушильный СНОЛ-04.

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная (Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633 Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2020).	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017.
2	Microsoft Office Professional Plus 2016 (Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633 Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2020).	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023.
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения.
5	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения.

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К. Инженерные методы защиты атмосферы [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие/ Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К. – Электрон. текстовые данные. – Белгород, Изд-во БГТУ, 2018. – 119 с.

2. Ветошкин Г. А. Аппаратурное оформление процессов защиты атмосферы от газовых выбросов: учебное пособие / Ветошкин Г. А.. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. — 248 с. — ISBN 978-5-9729-0510-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98359.html>

3.

6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. Электронная библиотека БГТУ им. В. Г. Шухова <http://ntb.bstu.ru>.
2. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» <http://e.lanbook.com>.
3. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru/>.
4. Национальная электронная библиотека <http://нэб.рф/>.

7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ¹

Рабочая программа утверждена на 20____ /20____ учебный год
без изменений / с изменениями, дополнениями²

Протокол № _____ заседания кафедры от «__» _____ 20____ г.

Заведующий кафедрой _____
подпись, ФИО

Директор института _____
подпись, ФИО

¹ Заполняется каждый учебный год на отдельных листах

² Нужно подчеркнуть