

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»  
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор, проректор  
по УР

\_\_\_\_\_ А.Е. Рудин

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.02**

Энергохимические процессы защиты окружающей среды

Учебный план: 2025-2026 20.04.01 ИПХиЭ ТБ ОЗО №2-2-99.plx

Кафедра: **18** Инженерной химии и промышленной экологии

Направление подготовки:  
(специальность) 20.04.01 Техносферная безопасность

Профиль подготовки:  
(специализация) Инженерная защита окружающей среды

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очно-заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
2	УП	17	17	83	27	4	Экзамен
	РПД	17	17	83	27	4	
Итого	УП	17	17	83	27	4	
	РПД	17	17	83	27	4	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, утвержденным приказом Минобрнауки России от 25.05.2020 г. № 678

Составитель (и):

кандидат технических наук, Доцент

\_\_\_\_\_

Власов Павел Петрович

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой инженерной химии и  
промышленной экологии

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай Юрьевич

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай Юрьевич

Методический отдел:

\_\_\_\_\_

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области обращения с твердыми отходами, сбросами и выбросами; технологических решений, сберегающих энергию и сырье; модернизации действующих производств, энергохимического обоснования и выбора экологически чистых и малоотходных участков и подразделений защиты окружающей среды в промышленности.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть основные положения химической термодинамики;
- Сформировать представления о теории и практике горения газообразных, жидких и твердых компонентов в технологии переработки отходов;
- Раскрыть принципы энерго- и ресурсосбережения в зависимости от технологии утилизации газообразных, жидких и твердых отходов;
- Продемонстрировать возможности плазменной технологии, термokatалитической восстановительной и окислительной деструкции поллютантов;
- Разобрать особенности технологических подходов к защите окружающей среды в промышленности.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Экологическая химия

Учебная практика (ознакомительная практика)

Организация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Информационные технологии в сфере безопасности

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>ПК-1: Способен проводить экологический анализ проектов расширения, реконструкции, модернизации действующих производств, создаваемых новых технологий и оборудования в организации</b>
<b>Знать:</b> технологическое оснащение производства, используемое сырье, материалы, энергетические ресурсы в сфере обращения с отходами, принципы расчетов основных элементов и систем обеспечения техносферной безопасности
<b>Уметь:</b> обеспечивать проведение контроля технологических процессов, выбирать и разрабатывать методы экологического анализа при реконструкции и внедрении новых технологий для защиты окружающей среды.
<b>Владеть:</b> навыками сравнительного анализа наилучших доступных технологий, прогрессивных методов и форм организации труда, рационализации профессиональной деятельности для обеспечения экологической безопасности.
<b>ПК-2: Способен устанавливать причины и последствия аварийных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, подготавливать предложения по предупреждению негативных последствий.</b>
<b>Знать:</b> термодинамические основы энерго-химических процессов обезвреживания выбросов, сбросов и твердых отходов с загрязнителями.
<b>Уметь:</b> оценивать возможность применения термохимических процессов для утилизации загрязненных отходов на основе термодинамического анализа и термодинамических расчетов
<b>Владеть:</b> навыками обоснованного выбора способа утилизации загрязненных потоков в различном агрегатном состоянии с использованием термохимических процессов.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Химическая термодинамика	2					3
Тема 1. Первый закон термодинамики. Теплота химических реакций. Закон Гесса. Методы определения теплоты образования соединений и тепловых эффектов реакции. Зависимость теплового эффекта от температуры и давления. Практическое занятие №1. Основные законы термохимии. Закон Гесса. Формула Кирхгоффа (семинар). Расчет тепловых эффектов реакций		2	2	8	ИЛ	
Тема 2. Второй закон термодинамики. Энтропия. Способы расчета энтропии неорганических и органических веществ, газов. Термодинамические потенциалы (характеристические функции). Химическое равновесие. Практическое занятие. Второй закон термодинамики. Самопроизвольные процессы и энтропия. Примеры расчетов энтропии. Практическое занятие. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Зависимость изобарно-изотермического потенциала реакции от температуры. Химическое равновесие. Расчет констант равновесия		2	3	8	ИЛ	
Раздел 2. Теория и практика горения.						3,0
Тема 3. Теория теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение, теплопередача, интенсификация теплообмена. Топливо и основы горения. Практическое занятие. Технические расчеты горения.		2	2	12	ИЛ	
Тема 4. Классификация горючих отходов промышленности: газообразные, жидкие и твердые. Важнейшие термохимические процессы и технологии утилизации отходов.		2		11	ИЛ	
Тема 5. Тепловой и материальный баланс термических методов переработки отходов. Влияние состава на процессы термического обезвреживания отходов. Практическое занятие. Материальный баланс горения и расчет температуры сжигания отходов.		2	3	10	ИЛ	
Раздел 3. Термокatalитическое восстановление, окисление и деструкция.						0
Тема 6. Обезвреживание газообразных отходов (прямое сжигание, деструкция вредных примесей в газах при повышенных и высоких температурах, термокаталитическое окисление и восстановление). Практическое занятие. Классификация ТПО и способы сжигания.		2	2	12	ИЛ	

Тема 7. Обезвреживание жидких отходов (сжигание, термокаталитическое окисление, парофазное и жидкофазное окисление, обезвреживание в плазме). Практическое занятие. Классификация ЖО и способы обезвреживания. установки обезвреживания ПСВ методом жидкофазного окисления.		2	3	12	ИЛ	
Тема 8. Обезвреживание твердых промышленных отходов (сжигание, окислительный пиролиз, низкотемпературный, среднетемпературный и высокотемпературный сухой пиролиз). Практическое занятие. Классификация ПГО и их очистка от токсичных веществ. Санитарно-гигиеническая оценка термического обезвреживания промышленных отходов.		3	2	10	ИЛ	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	17	83		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5		24,5		
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		36,5		107,5		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-1	Характеризует нормативно-правовые акты в области охраны окружающей среды и требования к сырью и материалам при оценке воздействия на окружающую среду. Анализирует порядок ввода в эксплуатацию оборудования с учетом требований в области техносферной безопасности, производственную и организационную структуру организации и перспективы ее развития. Выявляет в технологической цепочке процессы, операции и оборудование, оказывающие основное влияние на степень негативного воздействия организации на окружающую среду. Определяет технологические процессы, оборудование, технические способы, методы в качестве наилучшей доступной технологии в организации. Представляет информацию для проведения оценки воздействия на окружающую среду при расширении, реконструкции, модернизации действующих производств, создаваемых новых технологий и оборудования в организации.	Вопросы для устного собеседования Практическое задание Тестовые задания
ПК-2	Раскрывает смысл законов термодинамики, характеризует типовые технологические термохимические процессы в переработке техногенных отходов. На основании термодинамического анализа оценивает возможность применения термохимических методов переработки техногенных отходов. Принимает обоснованное решение по использованию выбранных термохимических методов переработки техногенных отходов	Вопросы для устного собеседования Практическое задание Тестовые задания

##### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Полный, исчерпывающий ответ, явно	

	демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу. Качество исполнения всех элементов практико-ориентированного задания полностью соответствует всем требованиям.	
4 (хорошо)	Ответ полный, основанный на проработке всех обязательных источников информации. Подход к материалу ответственный, но стандартный. Индивидуальное практико-ориентированное задание выполнено в достаточном объеме, но ограничивается только основными подходами.	
3 (удовлетворительно)	Ответ воспроизводит в основном только лекционные материалы, без самостоятельной работы с рекомендованной литературой. Демонстрирует понимание предмета в целом, без углубления в детали. Присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях по некоторым темам. Практико-ориентированное задание выполнено полностью, но в работе есть отдельные существенные ошибки.	
2 (неудовлетворительно)	Непонимание заданного вопроса. Неспособность сформулировать хотя бы отдельные концепции дисциплины. Практико-ориентированное задание не выполнено. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки). Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.	

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 2	
1	Типы термодинамических систем: изолированные, закрытые, диабатически изолированные, замкнутые, открытые.
2	Термодинамические процессы: равновесные (квазистатические), неравновесные, обратимые, необратимые, циклические (круговые).
3	Внутренняя энергия системы, теплота, работа, их определение, единицы измерения. Первый закон термодинамики, его формулировки.
4	Работа расширения идеальных и реальных газов в различных обратимых и необратимых процессах.
5	Энтальпия, определение. Теплоемкость, средняя и истинная теплоемкость, их связь. Пределы изменения теплоемкости.
6	Эмпирические правила для теплоемкости твердых тел и жидкостей Дюлонга и Пти, формулы для кристаллов Эйнштейна, Нернста-Линдемана и Тарасова.
7	Теплоемкость газов. Составляющие теплоемкости газов, их определение. Зависимость теплоемкости от температуры.
8	Закон Гесса как следствие первого закона термодинамики. Тепловой эффект химической реакции. Стандартные энтальпии химических реакций

9	Стандартные теплоты (энтальпии) образования химических соединений. Базисная (стандартная) энтальпия образования элементов. Стандартные теплоты сгорания.
10	Второй закон термодинамики. Самопроизвольные и несамопроизвольные процессы, их общая характеристика.
11	Направление самопроизвольных процессов и диссипация энергии. Энтропия как мера необратимого рассеяния энергии.
12	Вычисление изменения энтропии в различных обратимых и необратимых процессах. Изменение энтропии при изобарно-изотермическом смешении идеальных газов.
13	Вычисление изменения энтропии в химических реакциях.
14	Третий закон термодинамики, постулат Планка, остаточная энтропия. Абсолютные энтропии веществ.
15	Характеристические функции и их свойства (энтальпия - $H$ , энергия Гельмгольца - $A$ , энергия Гиббса - $G$ ).
16	Внутренняя энергия, зависимость внутренней энергии от температуры, объема и давления.
17	Энтальпия простых и сложных систем. Вычисление изменения энтальпии как функции температуры и давления.
18	Энтальпия как характеристическая функция и термодинамический потенциал. Графическая зависимость энтальпии от ее естественных переменных.
19	Энергия Гельмгольца и направление самопроизвольного процесса. Связь энергии Гельмгольца с внутренней энергией, с другими термодинамическими функциями и максимальной работой.
20	Вычисление изменения энергии Гельмгольца как функции температуры и объема (аналитическое и графическое представление).
21	Энергия Гиббса. Энергия Гиббса как термодинамический потенциал и характеристическая функция. Связь энергии Гиббса с максимальной полезной работой. Вычисление энергии Гиббса как функции температуры и давления.
22	Уравнение Гиббса-Гельмгольца в дифференциальной и интегральной форме, его роль в химии. Работа и теплота обратимых и необратимых процессов.
23	Химический потенциал, его определение через характеристические функции. Химический потенциал и энергия Гиббса индивидуальных веществ.
24	Основные направления в развитии теории растворов. Термодинамические условия образования растворов.
25	Общее давление насыщенного пара идеального раствора как функция состава раствора и состава насыщенного пара.
26	Неидеальные растворы, виды отклонений от закона Рауля, энергия взаимообмена и размерный фактор. Различные виды диаграмм равновесия.
27	Химический потенциал компонента в идеальном, предельно разбавленном и реальном растворах. Активность, методы определения активностей и коэффициентов активностей.
28	Двухкомпонентные системы с одной фазой переменного состава: с химическими соединениями, плавящимися конгруэнтно и инконгруэнтно. Эвтектические и перитектические точки. Криогидраты. Твердые растворы, условия их образования, правила Гиббса-Розебума.
29	Условия химического равновесия. Закон действующих масс, Термодинамическая константа равновесия. Энергия Гиббса химической реакции (уравнение изотермы химической реакции Вант-Гоффа). Стандартная энергия Гиббса химической реакции и ее связь с термодинамической константой равновесия.
30	Химические равновесия в гетерогенных системах и растворах. Принцип смещения равновесия Ле-Шаталье-Брауна, его термодинамическая трактовка
31	Зависимость констант равновесия от температуры. Уравнения изобары и изохоры реакции и их термодинамический вывод. Влияние давления на химическое равновесие.
32	Вычисление констант равновесия по стандартной энергии Гиббса и методу Темкина-Шварцмана.
33	Расчеты выхода продуктов химических реакций различных типов. Выходы продуктов при совместном протекании нескольких химических реакций.
34	Реальные газы. Фугитивность (летучесть), методы ее вычисления. Расчет химических равновесий с реальными газами при высоких давлениях.
35	Основные понятия химической кинетики. Особенности определения скорости химической реакции. Факторы, влияющие на скорость химической реакции.
36	Экспериментальное определение скорости химической реакции (графический и аналитический методы). Порядок химической реакции.
37	Закон действующих масс – основной постулат химической кинетики. Прямая и обратная задачи химической кинетики. Константа скорости химической реакции, ее физический смысл и размерность для реакций различных порядков.
38	Методы определения порядка реакции и константы скорости по экспериментальным данным. Понятие об интегральных и дифференциальных методах определения порядка реакции и константы скорости.

39	Обратимые реакции первого порядка, нахождение константы скорости прямой и обратной реакций по экспериментальным данным. Параллельные реакции. Последовательные реакции на примере двух необратимых реакций первого порядка.
40	Зависимость скорости реакции от температуры. Эмпирическое правило Вант-Гоффа и область его применения. Температурный коэффициент скорости реакции. Уравнение Аррениуса и его термодинамический вывод. Понятие об энергии активации химической реакции. Нахождение энергии активации химической реакции по экспериментальным данным.
41	Основы кинетики гетерогенных процессов. Роль диффузии при протекании гетерогенной химической реакции.
42	Диффузионная и кинетическая области протекания гетерогенной реакции. Роль адсорбции при протекании поверхностной реакции. Адсорбционный коэффициент.
43	Топохимические реакции, их механизм и особенности протекания. Скорость топахимической реакции. Уравнение Ерофеева-Колмогорова.
44	Общие понятия о процессе горения. Особенности горения газообразного топлива. Горелочные устройства для сжигания газообразного топлива
45	Общие понятия о процессе горения. Особенности горения жидкого топлива. Топочные устройства для сжигания твердого топлива.
46	Общие понятия о процессе горения. Особенности горения твердого топлива.
47	Тепловой и материальный баланс термических методов переработки отходов. Расчет температуры сжигания.
48	Прямое и каталитическое сжигание газообразных отходов в печах.
49	Обезвреживание жидких отходов в камерных, шахтных и в печах с псевдоожиженным слоем.
50	Обезвреживание жидких отходов в плазме.
51	Сжигание твердых отходов в камерных, многоподовых, барабанных и в печах с псевдоожиженным слоем.
52	Окислительный и сухой пиролиз твердых отходов
53	Динамика горения газовых смесей (цепные реакции горения, изотермическое, адиабатическое и при теплоотводе цепное воспламенение).
54	Горение углерода (механизм выгорания углерода, теория «приведенной пленки», не горящий пограничный слой, двойной горящий пограничный слой
55	Горение жидкого топлива. Мазутные форсунки.
56	Использование плазменных источников энергии. Плазмохимическая ликвидация супертоксикантов. Воздействие на слой отходов ударной плазменной струей
57	Интеграция процессов. Сопряженные процессы (процессы с рекуперацией механической и тепловой энергии).
58	Интеграция процессов. Массообменные сопряженные процессы (разделение азеотропной смеси, дистилляция-кристаллизация, экстракция – кристаллизация).
59	Интеграция процессов. Совмещенные процессы (реакционно-ректификационный процесс, реакционно-сорбционный процесс, реакционно-мембранный процесс и другие).
60	Статика горения. Материальный и тепловой баланс процесса горения. Определение коэффициента избытка воздуха по составу продуктов сгорания.

## 5.2.2 Типовые тестовые задания

Типовые тестовые задания находятся в Приложении к данной РГД.

## 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Сколько воздуха, кг, требуется подать на сжигание 200 м<sup>3</sup> генераторного газа состава: CO – 29 %, H<sub>2</sub> – 14 %, CH<sub>4</sub> – 3 %, CO<sub>2</sub> – 6,5 %, N<sub>2</sub> – 45 %, O<sub>2</sub> – 2,5 %, если коэффициент избытка воздуха равен 2,5?
2. Определить низшую теплоту сгорания 1 кг древесины состава C – 49 %, H – 8 %, O – 43 %. Какова удельная интенсивность тепловыделения на пожаре, если массовая скорость выгорания составляет 0,01 кг/(м<sup>2</sup>×с)?



### 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

#### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

#### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☒ Письменная ☐ Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

#### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- время на подготовку по билету составляет 30 минут;
- выполнение практического задания составляет 15 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Трубаев, П. А.	Термодинамический и эксергетический анализ в теплотехнологии	Москва: Инфра-Инженерия	2019	<a href="http://www.iprbookshop.ru/86652.html">http://www.iprbookshop.ru/86652.html</a>
Власов П. П.	Энергохимические процессы в защите окружающей среды	Санкт-Петербург: СПбГУПТД	2019	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019330">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019330</a>
Власов П. П.	Термохимические процессы	СПб.: СПбГУПТД	2013	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1603">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1603</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Магаев, О. В., Минакова, Т. С., Сидорова, О. И., Галанов, С. И.	Химическая термодинамика	Саратов: Вузовское образование	2021	<a href="http://www.iprbookshop.ru/111593.html">http://www.iprbookshop.ru/111593.html</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

1. Единый портал интернет тестирования в сфере образования [Электронный ресурс]. URL:<http://www.i-exam.ru/>.
2. Материалы Информационно-образовательной среды заочной формы обучения СПбГУПТД [Электронный ресурс]. URL:[http://sutd.ru/studentam/extramural\\_student/](http://sutd.ru/studentam/extramural_student/).
3. Офисный пакет MicrosoftOffice
4. Электронно-библиотечная система IPRbooks. URL:<http://iprbookshop.ru/>.
5. Электронная библиотека учебных изданий СПбГУПТД. URL:<http://publish.sutd.ru/>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftOfficeProfessional  
Microsoft Windows  
Mathcad Education – University Edition Term

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска