

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

протокол № 1 от «29» августа 2024 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ХИМИКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ»**

**Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

**Магистерская программа – «Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в  
химической технологии»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2024**

Программа составлена:

доцентом кафедры ОХТ, к.т.н., Золотухиным С.Е.

старшим преподавателем кафедры ОХТ, Сальниковой О.Ю.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Общей химической технологии «16» мая 2024 г., протокол № 9.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению *18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии* (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой *Общей химической технологии* РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение *одного* семестра.

Дисциплина *«Автоматизированное управление химико-технологическими системами»* относится к части дисциплин учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики и естественнонаучных дисциплин.

**Цель дисциплины** – приобретение теоретических и практических знаний в области построения современного автоматизированного управления химико-технологическими системами, овладение методами построения иерархического автоматизированного управления химико-технологическими системами на базе современных комплексов технических средств, приобретение навыков и умения анализировать свойства химико-технологических систем с позиции управления и практического применения технических средств управления.

**Цель дисциплины** – формирование у обучающихся профессиональных компетенций, целостного восприятия, существенного расширения и систематизации знаний в области теоретических основ гетерогенного катализа, научных основ синтеза катализаторов, построения моделей промышленных каталитических реакторов и реакторных узлов, расчёта и оптимизации энерго–ресурсосберегающих режимов эксплуатации, позволяющим выпускникам осуществлять научно-исследовательскую и профессиональную деятельность.

### **Задачи дисциплины:**

- развитие представлений о современных методах анализа статических и динамических характеристик химико-технологической системы как объекта управления;
- изучение структур и функций автоматизированных систем управления, методов и законов управления ХТС;
- овладение методами построения автоматизированных систем управления на базе современных комплексов технических средств;
- приобретение навыков и умения применять математический аппарат и современное программное обеспечение для анализа свойства химико-технологических систем с позиции управления;
- приобретение умения грамотно ставить задачи управления ХТС.

Дисциплина *«Автоматизированное управление химико-технологическими системами»* преподаётся во *2-ом* семестре. Контроль успеваемости студентов ведётся по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	- Химическое, химико-технологическое производство  - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.1 Знает методы и средства определения показателей энергоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности	40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (уровень квалификации – 7)
			ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	
			ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности	

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- особенности химико-технологических процессов и систем;
- типовые проектные решения по системам автоматизации основных химико-технологических объектов;
- принципы построения комплексов технических средств автоматизированных систем управления;
- методы управления типовыми химико-технологическими системами.

*Уметь:*

- разрабатывать функциональные схемы автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;
- выбирать технические средства для автоматизированного управления химико-технологическими системами;
- ставить и решать задачи оптимального управления типовыми химико-технологическими системами.

*Владеть:*

- методами построения функциональных схем автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;
- методами настройки регуляторов, построенных на основе программируемых логических контроллеров;
- пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов и SCADA-системой TRACE MODE для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте управления.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>81</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,42</b>	<b>51</b>	<b>38</b>
Лекции	0,47	17	13
Практические занятия (ПЗ)	0,28	10	7
Лабораторные работы (ЛР)	0,67	24	18
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1,58</b>	<b>57</b>	<b>43</b>
Контактная самостоятельная работа	1,58	56,6	42,7
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		0,4	0,3
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Зачет с оценкой</b>	+	+	+
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>зачет с оценкой</b>		

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего	Академ. часов			
			Лек	ПЗ	ЛР	СР
1.	Раздел 1. Основные понятия автоматизированного управления химико-технологическими системами	12	2	2	2	6
2.	Раздел 2. Системы автоматического и автоматизированного управления	32	4	3	8	17
3.	Раздел 3. Основные сведения об автоматизированных системах управления химико-технологическими системами (АСУ ХТС)	32	5	2	8	17
4.	Раздел 4. Основы проектирования АСУ ХТС	32	6	3	6	17
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>57</b>
	<b>Зачёт с оценкой</b>	<b>0</b>				
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>				

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### **Раздел 1. Основные понятия автоматизированного управления химико-технологическими системами.**

Основные термины и определения. Иерархия управления: Особенности управления химико-технологическими системами. Основные принципы управления. Классификация систем управления. Структурные схемы системы автоматического управления. Качество процесса управления. Переходные процессы. Типовые переходные характеристики. Устойчивость. Показатели качества управления.

### **Раздел 2. Системы автоматического и автоматизированного управления.**

Классификация химико-технологических систем как объектов управления. Основные свойства объектов управления. Методы определения свойств объектов управления. Основные законы регулирования. Регуляторы с прогнозирующей моделью. Регуляторы на основе искусственных нейронных сетей. Цифровые регуляторы на базе ПЛК. Цифровые и робастные системы управления. Определение оптимальных параметров настройки промышленных регуляторов. Методы выбора закона регулирования, исходя из свойств объекта регулирования и требований к качеству регулирования.

### **Раздел 3. Основные сведения об автоматизированных системах управления химико-технологическими системами (АСУ ХТС).**

Назначение и основные функции АСУ ТП. Разновидности АСУ ТП. Режимы работы АСУ ТП. Вычислительные комплексы, применяемые в АСУ ТП. Обеспечение АСУ ТП: техническое, программное, математическое, информационное, метрологическое и т.д. Надёжность функционирования АСУ ТП. Взаимодействие оператора с техническими средствами АСУ ТП. Примеры систем автоматизированного управления в химической промышленности. АСУ ТП подготовка нефти, АСУ ТП в производстве минеральных удобрений, АСУ ТП в производстве азотной кислоты.

### **Раздел 4. Основы проектирования АСУ ХТС.**

Динамические характеристики и особенности управления типовыми процессами и аппаратами химической технологии. Регулирование тепловых и массообменных процессов. Управление процессами в химическом реакторе. Технические средства систем автоматического управления. Современная реализация АСУ ТП. SCADA-системы Стадии проектирования систем управления. Оформление проектного задания на автоматизацию технологического процесса. Выбор точек измерения, контроля, управляемых параметров и управляющих воздействий. Стандарты и условные обозначения для технологических схем. Современные тенденции в развитии систем управления химико-технологическими процессами.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
<b>Знать:</b>					
1	особенности химико-технологических процессов и систем;	+	+	+	+
2	типовые проектные решения по системам автоматизации основных химико-технологических объектов;			+	+
3	принципы построения комплексов технических средств автоматизированных систем управления;			+	+
4	методы управления типовыми химико-технологическими системами.			+	+
<b>Уметь:</b>					
5	разрабатывать функциональные схемы автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;			+	+
6	выбирать технические средства для автоматизированного управления химико-технологическими системами;			+	+
7	ставить и решать задачи оптимального управления типовыми химико-технологическими системами.	+	+	+	+
<b>Владеть:</b>					
8	методами построения функциональных схем автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;	+	+		+
9	методами настройки регуляторов, построенных на основе программируемых логических контроллеров;		+	+	+
10	пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов и SCADA-системой TRACE MODE для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте управления.				+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <i>профессиональные</i> компетенции и индикаторы их достижения:						
	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
11	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.1 Знает методы и средства определения показателей энергоресурсоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности	+	+	+	+
12		ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	+	+		
13		ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности			+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1, 2	Динамические свойства объектов управления. Модели устойчивых (апериодических, колебательных), нейтральных и неустойчивых объектов управления.	1
2	1, 2	Определение параметров математической модели по переходной характеристике объекта управления.	1
3	2	Выбор закона регулирования, исходя из свойств объекта управления и требований к качеству управления. Определение оптимальных параметров настройки промышленных регуляторов.	2
4	3	Управление нелинейными объектами на примере регулирования рН.	2
5	3, 4	Управление тепловыми процессами. Пример: регулирование температуры кожухотрубного парожидкостного теплообменника.	2
6	3, 4	Управление массообменными процессами. Пример: стратегия управления ректификационной установкой. Статические и динамические характеристики ректификационной колонны.	2

## 6.2 Лабораторные занятия

В практикум входит 3 работы из 8, указанных в таблице. Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет **30** баллов (максимально по **10** баллов за каждую работу).

Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1, 2, 3, 4.	Статические и динамические характеристики интеллектуальных промышленных датчиков.
2	1, 2, 3, 4	Определение параметров математической модели по переходной характеристике объекта управления.
3	1, 2, 3, 4	Исследование системы автоматического регулирования расхода с применением промышленных расходомеров различного типа.
4	1, 2, 3, 4.	Исследование системы автоматического регулирования уровня с применением промышленных датчиков уровня различного типа.
5	1, 2, 3, 4.	Исследование систем регулирования давления: построенных на базе ПЛК OMRON CP1E и на базе измерителя-регулятора ОБЕН ТРМ-210.
6	1, 2, 3, 4	Освоить способы настройки и работы с цифровым регулятором температуры ТЕРМОДАТ 25К5 применительно к системам регулирования температуры.
7	1, 2, 3, 4	Создание системы регулирования уровня жидкости в резервуаре на базе ПЛК OMRON CP1E и SCADA-системы TRACE MODE.
8	1, 2, 3, 4.	Создание системы регулирования давления на базе измерителя-регулятора ОБЕН ТРМ210 и SCADA-системы TRACE MODE.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение лекционного материала и учебника по дисциплине;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу дисциплины;
- подготовку к сдаче *зачёта с оценкой* и лабораторного практикума по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

С Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка **15** баллов), расчетно-графической работы (максимальная оценка **15** баллов), лабораторного практикума (максимальная оценка **30** баллов) и итогового контроля в форме *зачёта с оценкой* (максимальная оценка **40** баллов).

### 8.1. Примерная тематика расчетно-графических работ

1. Особенности регулирования расхода:
  - регулирование расхода жидкости между двумя аппаратами;
  - регулирование расхода жидкости в трубопроводе.
2. Особенности регулирования уровня:
  - в резервуаре с насосом;
  - в резервуаре с свободным истечением жидкости.
3. Регулирование паро-жидкостного теплообменника
  - статические характеристики;
  - динамические характеристики.
4. Особенности динамических характеристик кожухотрубного паро-жидкостного теплообменника.
5. Выбор систем регулирования температуры жидкости на выходе промышленных кожухотрубных паро-жидкостных теплообменников.
6. Каскадная система регулирования температуры жидкости на выходе кожухотрубного паро-жидкостного теплообменника.
7. Особенности управления ректификационной установкой: статические характеристики; динамические характеристики.
8. Системы управления ректификационной установкой варианты:  
одноконтурная; каскадная; комбинированная.
9. комбинированная система регулирования состава дистиллята в ректификационной колонне.
10. Регулирование состава дистиллята в дистилляционной колонне.
11. Регулирование состава кубового продукта в дистилляционной колонне.
12. Одновременное регулирование состава дистиллята и кубового продукта в дистилляционной колонне.
13. Особенности управления процессом рекуперации метанола.
14. Регулирование pH в химическом реакторе с мешалкой.
15. Комбинированная система регулирования температуры в химическом реакторе с мешалкой.
16. Каскадная система регулирования температуры в химическом реакторе с мешалкой.
17. Регулирование температуры в химическом реакторе с мешалкой с запаздыванием.
18. Регулирование уровня и давления стадии фильтрации.
19. Регулирование расхода и уровня стадии смешения.
20. Регулирование температуры в трубчатом реакторе.
21. Регулирование многосвязных объектов.

## 8.2. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 2 контрольных работы. Максимальная оценка за контрольные работы составляет 5 баллов за первую и 10 баллов за вторую.

### Разделы 1 и 4. Пример контрольной работы № 1. Максимальная оценка – 5 баллов. Контрольная работа содержит 1 вопрос.

Рассчитать и подобрать регулирующий орган исполнительного устройства для потока газа. Характеристики газа: инертный; плотность  $\rho = 2,0 \text{ кг/м}^3$ ; абсолютная температура  $T_1 = 293 \text{ К}$ ; коэффициент, учитывающий отклонение газа от законов идеального газа,  $k = 1$ ; максимальный расход газа  $F_{\max} = 2700 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; абсолютное давление перед регулирующим органом при максимальном расходе газа  $p_1 = 0,8 \text{ МПа}$ ; абсолютное давление после регулирующего органа при максимальном расходе газа  $p_2 = 0,38 \text{ МПа}$ .

### Разделы 3 и 4. Пример контрольной работы № 2. Максимальная оценка – 10 баллов. Контрольная работа содержит 1 вопрос.

Проанализировать и выявить основные возмущающие и управляющие воздействия при регулировании температуры на выходе кожухотрубного паро-жидкостного теплообменника.

Предложить варианты систем регулирования температуры на выходе кожухотрубного паро-жидкостного теплообменника и изобразить их, используя условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах по ГОСТ 21.404-85.

## 8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины.

Билет для *зачёта с оценкой* включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит 3 вопроса. Первый вопрос – 15 баллов, второй вопрос – 15 баллов, третий вопрос – 10 баллов.

### 8.2.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (*зачёта с оценкой*)

1. Технико-экономический эффект управления и роль управления в обеспечении безопасности химического производства и охраны окружающей среды.
2. Управление автоматизированное и автоматическое, объект управления, технологический объект управления, химико-технологический процесс, химико-технологическая система.
3. Экстенсивные (количественные) и интенсивные (качественные) параметры ХТС (ХТП). Возмущающие и управляющие воздействия.
4. Иерархия управления: АСУП, АСУ ТП, САР. Особенности управления химическим предприятием (АСУП) и управления технологическим процессом (ХТП).
5. Основные принципы управления: по задающему воздействию, по возмущающему воздействию, управление по отклонению, комбинированное управление.
6. Классификация систем управления: по характеру изменения задающего воздействия, по числу контуров, по числу управляемых параметров, по характеру управляющих воздействий, по энергетическим признакам, по математическому описанию.
7. Структурные схемы системы автоматического управления (АСУ).

8. Структурная схема системы автоматического регулирования (САР).
9. Качество процесса управления.
10. Переходные процессы. Типовые переходные характеристики.
11. Устойчивость. Показатели качества управления, характеризующие точность регулирования, быстродействие, колебательность переходного процесса. Интегральные показатели качества регулирования.
12. Типовые оптимальные процессы регулирования.
13. Классификация объектов управления: одномерные и многомерные объекты, односвязные и многосвязные объекты, линейные и нелинейные объекты, объекты с распределёнными и сосредоточенными параметрами.
14. Объекты управления и их основные свойства: ёмкость, самовыравнивание, запаздывание.
15. Методы определения свойств объектов управления.
16. Основные законы регулирования: пропорциональный, интегральный и дифференциальный законы.
17. Законы регулирования: пропорционально-интегральный; пропорционально-дифференциальный, пропорционально-интегрально-дифференциальный.
19. Позиционное регулирование.
20. Регуляторы на основе искусственных нейронных сетей.
21. Цифровые ПИД-регуляторы.
22. Цифровые и робастные системы управления.
23. Определение оптимальных параметров настройки промышленных регуляторов.
24. Методы выбора закона регулирования, исходя из свойств объекта.
25. Назначение и основные функции АСУ ТП.
26. Разновидности АСУ ТП. Децентрализованные, централизованные и распределённые АСУ.
27. Режимы работы АСУ ТП: автоматизированные и автоматические. 28. Вычислительные комплексы, применяемые в АСУ ТП.
29. Обеспечение АСУ ТП: техническое, программное, математическое, информационное, метрологическое и т.д.
30. Надёжность функционирования АСУ ТП.
31. Взаимодействие оператора с техническими средствами АСУ ТП
32. Функции SCADA-системы. Разновидности SCADA-систем
33. Примеры систем автоматизированного управления в химической промышленности. АСУ ТП подготовка нефти.
34. Примеры систем автоматизированного управления в химической промышленности. АСУ ТП в производстве минеральных удобрений.
35. Примеры систем автоматизированного управления в химической промышленности. АСУ ТП в производстве азотной кислоты.
36. Управление нелинейными объектами на примере регулирования рН.
37. Динамические характеристики кожухотрубного паро-жидкостного теплообменника.
38. Управление ректификационной установкой.
39. Эволюция систем управления ректификационной установкой. 40. Управление процессами в трубчатом химическом реакторе

41. Основные разновидности управляющих устройств, применяемых в системах управления ХТП.
42. Принципы построения управляющих устройств: первый уровень агрегатизации – элементный, второй уровень агрегатизации – модульный, третий уровень агрегатизации – блочный.
43. Особенности использования управляющих устройств для создания одноконтурных и многоконтурных АСУ.
44. Вспомогательное оборудование.
45. Исполнительные устройства.
46. Типы и характеристики исполнительных механизмов и регулирующих органов.
47. Расчёт регулирующих органов.
48. Преобразователи, задающие устройства, усилители.
49. Стадии проектирования систем управления: разработка технического задания, эскизная разработка, разработка технического проекта.
50. Оформление проектного задания на автоматизацию технологического процесса. Выбор точек измерения, контроля, управляемых параметров и управляющих воздействий.
51. Стандарты и условные обозначения для технологических схем.
52. Современные тенденции в развитии систем автоматизированного управления химико-технологическими процессами.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

### 8.3. Структура и примеры билетов для зачёта с оценкой

*Зачёт с оценкой* по дисциплине «*Автоматизированное управление химико-технологическими системами*» проводится во *2-ом* семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для *зачёта с оценкой* состоит из *3* вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для *зачёта с оценкой*:

«Утверждаю» заведующий кафедрой ОХТ _____ В.Н. Грунский «__» _____ 2024 г.	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра <i>Общей химической технологии</i></b>
	<b><i>18.04.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии</i></b>
	<b>Магистерская программа «<i>Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии</i>» Дисциплина: <i>Автоматизированное управление химико- технологическими системами</i></b>
<b>Билет № 1</b>	
1. Комбинированная система регулирования состава дистиллята в ректификационной колонне.	
2. Цифровые и робастные системы управления.	
3. Основные задачи, решаемые SCADA-системами.	

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### А. Основная литература

1. Беспалов А. В., Харитонов Н. И. Системы управления химико-технологическими процессами. Учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 690 с. (**базовый учебник**)

#### Б. Дополнительная литература

1. Беспалов А. В., Харитонов Н. И. Задачник по системам управления химико-технологическими процессами. Учебное пособие для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 307 с.

2. Сажин, С. Г. Средства автоматического контроля технологических параметров: учебник / С. Г. Сажин. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 368 с. – ISBN 978-5-8114-1644-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211655> (дата обращения: 31.03.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Беспалов А.В., Грунский В.Н., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами: иллюстративные материалы. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 76 с.

4. Беспалов А.В., Грунский В.Н., Золотухин С.Е., Сальникова О.Ю., Садиленко А.С. Системы управления химико-технологическими процессами: лабораторный практикум. Ч. 1. Система автоматического регулирования расхода, 2016, 86 с.

### 9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Современные технологии автоматизации» («СТА») ISSN 0206-975X
- Журнал «Автоматизация в промышленности» ISSN 1819-5962
- Журнал «Автоматизация. Современные технологии» ISSN 0869-4931

### 9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 60);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число билетов – 30);
- компьютерные презентации интерактивных лекций (общее число слайдов – 154).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2024 составляет 1 559 436 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Автоматизированное управление химико-технологическими системами»* проводятся в форме лекций, практических занятий, лабораторных работ и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Лекционная учебная аудитория, оборудованная меловой доской и учебной мебелью, учебная аудитория для проведения практических занятий, оборудованная меловой доской и учебной мебелью, компьютерный зал для проведения лабораторного практикума с 7 рабочими местами, 7 персональными компьютерами и 7 стендами по регулированию и измерению основных технологических параметров (давление, уровень, расход, температура).

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Презентации лекционного материала.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Для самостоятельной работы каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к нескольким электронно-библиотечным системам (электронным библиотекам), содержащим все издания основной литературы, перечисленные в рабочей программе дисциплины, сформированным на основании прямых договорных отношений с правообладателями.

#### 11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине, методические рекомендации к практическим занятиям; раздаточный материал к лекционным курсам; электронные учебные издания.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционных курсов; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде.

#### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	WINDOWS 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013 от 02.12.2013	8	бессрочно
2	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.	Контракт №72-99ЭА/2022 от 29.08.2022	8	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)
3	Trace Mode 6	ПО находится в открытом доступе	7	бессрочная
4	Microsoft WhiteBoard 3.0	ПО находится в открытом доступе	1	бессрочная

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1.</b></p> <p>Основные понятия автоматизированного управления химико-технологическими системами</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности химико-технологических процессов и систем.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ставить и решать задачи оптимального управления типовыми химико-технологическими системами.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами построения функциональных схем автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу № 1</p> <p>Оценка за лабораторный практикум</p> <p>Оценка за зачёт с оценкой</p>
<p><b>Раздел 2.</b></p> <p>Системы автоматического и автоматизированного управления</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности химико-технологических процессов и систем.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ставить и решать задачи оптимального управления типовыми химико-технологическими системами.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами построения функциональных схем автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;</li> <li>- методами настройки регуляторов, построенных на основе программируемых логических контроллеров.</li> </ul>	<p>Оценка за лабораторный практикум</p> <p>Оценка за зачёт с оценкой</p>
<p><b>Раздел 3.</b></p> <p>Основные сведения об автоматизированных системах управления химико-технологическими системами (АСУ ХТС)</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности химико-технологических процессов и систем;</li> <li>- типовые проектные решения по системам автоматизации основных химико-технологических объектов;</li> <li>- принципы построения комплексов технических средств автоматизированных систем управления;</li> <li>- методы управления типовыми химико-технологическими системами.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатывать функциональные схемы автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;</li> <li>- выбирать технические средства для автоматизированного управления химико-технологическими системами;</li> <li>- ставить и решать задачи оптимального управления типовыми химико-технологическими системами.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p>	<p>Оценка за контрольную работу № 2</p> <p>Оценка за лабораторный практикум</p> <p>Оценка за зачёт с оценкой</p>

	<p>- методами настройки регуляторов, построенных на основе программируемых логических контроллеров.</p>	
<p><b>Раздел 4</b>  <b>Основы проектирования АСУ ХТС</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности химико-технологических процессов и систем;</li> <li>- типовые проектные решения по системам автоматизации основных химико-технологических объектов;</li> <li>- принципы построения комплексов технических средств автоматизированных систем управления;</li> <li>- методы управления типовыми химико-технологическими системами.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатывать функциональные схемы автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;</li> <li>- выбирать технические средства для автоматизированного управления химико-технологическими системами;</li> <li>- ставить и решать задачи оптимального управления типовыми химико-технологическими системами.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами построения функциональных схем автоматизированного управления типовыми химико-технологическими системами;</li> <li>- методами настройки регуляторов, построенных на основе программируемых логических контроллеров;</li> <li>- пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов и SCADA-системой TRACE MODE для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте управления.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу № 1</p> <p>Оценка за контрольную работу № 2</p> <p>Оценка за расчётно-графическую работу</p> <p>Оценка за лабораторный практикум</p> <p>Оценка за зачёт с оценкой</p>

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

– Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 06.04.2021 № 245);

– Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

– Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Автоматизированное управление химико-технологическими системами»**

**основной образовательной программы  
18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии**

**магистерская программа  
«Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии»**

Форма обучения: *очная*

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета  
протокол № 1 от «29» августа 2024 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ГЕТЕРОГЕННЫЙ КАТАЛИЗ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ  
КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ»**

**Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

**Магистерская программа – «Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в  
химической технологии»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2024**

Программа составлена:

профессором кафедры ОХТ, д.т.н., Ванчуриным В.И.

заведующим кафедрой ОХТ, д.т.н., Грунским В.Н.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Общей химической технологии «16» мая 2024 г., протокол № 9.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **Общей химической технологии** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение **одного** семестра.

Дисциплина **«Гетерогенный катализ и промышленные каталитические процессы»** относится к части дисциплин учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики и естественнонаучных дисциплин.

**Цель дисциплины** – получение знаний об основных принципах организации, структуре, функциональном составе и компонентах химического производства, методах оценки эффективности его функционирования, анализе и синтезе ХТС, об энерго- и ресурсосберегающих, безотходных и малоотходных технологиях на примерах современных химических производств.

**Цель дисциплины** – формирование у обучающихся профессиональных компетенций, целостного восприятия, существенного расширения и систематизации знаний в области теоретических основ гетерогенного катализа, научных основ синтеза катализаторов, построения моделей промышленных каталитических реакторов и реакторных узлов, расчёта и оптимизации энерго–ресурсосберегающих режимов эксплуатации, позволяющим выпускникам осуществлять научно-исследовательскую и профессиональную деятельность.

### **Задачи дисциплины:**

- развитие понимания сущности физико-химических явлений гетерогенно-каталитических процессов,
- изучения основных кинетических закономерностей на базе фундаментальных законов действующих масс и поверхностей,
- развитие навыков составления математических моделей гетерогенно-каталитического процесса на зерне, в слое катализатора, промышленных реакторов и реакторных узлов,
- ознакомление с промышленными технологиями, номенклатурой и свойствами промышленных катализаторов,
- развитие способностей к анализу и совершенствованию технологий на примерах типовых процессов и методов расчета каталитических установок.

Дисциплина **«Гетерогенный катализ и промышленные каталитические процессы»** преподаётся в **1-ом** семестре. Контроль успеваемости студентов ведётся по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

### Универсальные компетенции и индикаторы их достижения:

Наименование категории (группы) УК	Код и наименование УК	Код и наименование индикатора достижения УК
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действия	УК-1.1. Знает методы осуществления поиска вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации  УК-1.2. Умеет определять в рамках выбранного алгоритма вопросы или задачи, подлежащие дальнейшей разработке  УК-1.3. Владеет способами планирования работы для решения поставленных задач

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	- Химическое, химико-технологическое производство  - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.1. Знает современные методы, используемые при проведении научных исследований в области реализации принципов энерго- и ресурсосбережения и основные этапы выполнения научно-исследовательской работы	40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (уровень квалификации – 7)
			ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности	
			ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- основы современных теорий гетерогенного катализа, компонентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и способах производства катализаторов;
- основные отечественные и мировые достижения в области гетерогенного катализа;
- физико-химические закономерности современных каталитических явлений и их природу;
- методы приготовления катализаторов, области их практического применения;
- методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов;
- основные типы и конструкции аппаратов, технологию и общие принципы осуществления каталитических процессов.

*Уметь:*

- применять методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов;
- самостоятельно ставить задачи физико-химических исследований катализаторов, выбирать обоснованные решения и методы при синтезе гетерогенных катализаторов;
- самостоятельно выполнять научно-исследовательскую работу и добиваться научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям.

*Владеть:*

- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области гетерогенного катализа с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;
- методами расчёта кинетических параметров и математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов;
- способностью и готовностью к анализу физико-химических закономерностей современных каталитических явлений;
- приёмами управления реологическими и структурно-механическими свойствами катализаторных пластических масс, позволяющих осуществлять их эффективную грануляцию.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>108</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,42</b>	<b>51</b>	<b>38</b>
Лекции	0,47	17	13
Практические занятия (ПЗ)	0,95	34	25
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1,58</b>	<b>57</b>	<b>43</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	1,58	57	43
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>экзамен</b>		

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лек	ПЗ	СР
<b>1</b>	<b>Раздел 1. Кинетика каталитических реакций. Процесс в зерне катализатора</b>	<b>53</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>25</b>
1.1	История развития катализа	1,5	0,5	-	1
1.2	Определение Г.К. Борескова. Примеры особенности каталитических реакций	2	1	-	1
1.3	Тенденции в развитии катализа	1,5	0,5	-	1
1.4	Основные понятия каталитической реакции. Ленгмюровская кинетика	12	2	4	6
1.5	Многомаршрутные реакции, базис маршрутов, вывод и анализ кинетических моделей	12	2	4	6
1.6	Процесс на непористом зерне катализатора	8	2	4	2
1.7	Процесс в пористом зерне катализатора, построение моделей, их решение. Модуль Тиле-Зельдовича, наблюдаемая скорость превращения и степень использования внутренней поверхности (эффективность процесса)	16	2	6	8
<b>2</b>	<b>Раздел 2. Каталитический процесс в реакторе</b>	<b>38</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>22</b>
2.1	Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов. Анализ процесса в слое катализатора. Изотермический процесс в неподвижном слое катализатора. Обоснование и построение модели	15	1	4	10

2.2	Неизотермический процесс в неподвижном слое катализатора – обоснование и построение моделей. Адиабатический процесс, профили температур и концентраций. Критические тепловые явления в гетерогенном процессе. Неоднозначность и гистерезис стационарных режимов	12	2	4	6
2.3	Автотермический реактор, профили температур и концентраций, неоднозначность режимов. Многослойные адиабатические реакторы, трубчатые реакторы, реакторы с зернистым и блочным катализатором, с движущимся и кипящим слоями, основные конструктивные решения	11	1	4	6
<b>3.</b>	<b>Раздел 3. Оптимизация каталитических процессов и реакторов. Основные промышленные каталитические процессы. Типы катализаторов, научные основы их приготовления</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
3.1	Теоретический оптимальный режим для простых обратимых реакций. Оптимальные адиабатические реакторы с промежуточными теплообменниками и с подачей холодного сырья	9	1	4	4
3.2	Научные основы управляемого синтеза катализаторов. Классификация катализаторов. Основные показатели качества катализаторов. Реологические и структурно-механические свойства катализаторных масс. Текстульные характеристики катализатора и их влияние на активность и селективность. Оптимизация геометрических размеров и форм катализаторов	3	1	-	2
3.3	Катализ в переработке природного газа. Получение синтез-газа. Каталитические процессы глубокого и парциального гидрирования и окисления	5	1	-	4
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>57</b>
	<b>Экзамен</b>	<b>36</b>			
	<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>			

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### Раздел 1. Кинетика каталитических реакций. Процесс в зерне катализатора.

1.1. Катализ – определение, история развития, сущность катализа, классификация. Определение Г.К. Борескова. Примеры каталитических реакций. Роль катализа в современной промышленности.

1.2. Стадии каталитического процесса. Примеры важнейших каталитических процессов. Тенденции в развитии катализа.

1.3. Примеры важнейших каталитических процессов. Тенденции в развитии катализа.

1.4. Классификация каталитических процессов. Стадии гетерогенно-каталитической реакции. Стационарный и квазистационарный режимы катализатора. Основные понятия каталитической реакции: элементарная стадия, механизм, маршрут, стехиометрическое число, брутто-реакция, скорость превращения и скорость реакции, порядок реакции, кинетическая модель. Закон действующих поверхностей.

1.5. Ленгмюровская кинетика каталитических реакций, протекающих по ударному и ассоциативному механизмам, с диссоциативной и ассоциативной адсорбцией, вывод и анализ. Многомаршрутные реакции, базис маршрутов и его определение, вывод и анализ кинетических моделей.

Деактивация катализаторов – причины (старение, отравление примесями и компонентами реакции). Активность катализатора – способы ее представления (мера активности). Измерение активности катализатора.

1.6. Процесс на непористом зерне катализатора – обоснование и построение модели, наблюдаемая скорость превращения и её анализ (режимы процесса, влияние условий протекания процесса). Число и устойчивость стационарных режимов на непористом катализаторе при протекании экзо- и эндотермических реакций, их значение в практике.

Структура пористого зерна катализатора, обоснование и использование квазигомогенной модели процесса. Взаимодействие диффузионных явлений с химической реакцией. Лимитирующая стадия, способы интенсификации процесса на промышленном зерне катализатора.

1.7. Структура пористого зерна катализатора, обоснование и использование квазигомогенной модели процесса. Взаимодействие диффузионных явлений с химической реакцией. Лимитирующая стадия, способы интенсификации процесса на промышленном зерне катализатора.

Процесс в пористом зерне катализатора в форме пластинки и шара – построение моделей, их решение. Модуль Тиле – Зельдовича, наблюдаемая скорость превращения и степень использования внутренней поверхности (эффективность процесса), режимы процесса (кинетический, внутридиффузионный и переходный). Сопоставление показателей процессов в зернах различной геометрической формы. Анализ процессов при протекании реакций с различными кинетическими моделями, оценка эффективности процесса в диффузионной области. Влияние температуры и поверхностной концентрации на эффективность процесса, наблюдаемые энергия активации и порядок реакции. Влияние внутридиффузионного переноса на селективность процесса. Разогрев катализатора.

### Раздел 2. Каталитический процесс в реакторе.

2.1. Типы и классификация каталитических реакторов. Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов. Структура слоя катализатора и каталитического процесса в нём. Анализ процесса в слое катализатора. Изотермический процесс в неподвижном слое катализатора. Обоснование и построение модели, профили концентраций (степени превращения) при протекании простой (необратимой, обратимой) и сложной реакции. Влияние условий протекания процесса (скорость потока реагентов, концентраций

компонентов, температуры) на показатели процесса. Неизотермический процесс в неподвижном слое катализатора – обоснование и построение моделей.

2.2. Адиабатический процесс, профили температур и концентраций, влияние условий протекания процесса на его показатели. Критические тепловые явления в гетерогенном процессе. Неоднозначность и гистерезис стационарных режимов. Процесс с теплообменом (в трубчатом реакторе), профили температур и концентраций для экзо- и эндотермических реакций. Влияние условий протекания процесса на его показатели. Особенность процесса – наличие "горячей точки", её роль при практическом осуществлении процесса.

2.3. Автотермический реактор – описание процесса, профили температур и концентраций, неоднозначность режимов. Многослойные адиабатические реакторы, трубчатые реакторы, реакторы с зернистым и блочным катализатором, с движущимся и кипящим слоями, основные конструктивные решения, особенности процессов. Применение в химических и других производствах.

**Раздел 3. Оптимизация каталитических процессов и реакторов. Основные промышленные каталитические процессы. Типы катализаторов, научные основы их приготовления.**

3.1. Теоретический оптимальный режим для простых обратимых реакций. Оптимальные адиабатические реакторы с промежуточными теплообменниками и с подачей холодного сырья.

3.2. Научные основы управляемого синтеза катализаторов. Классификация катализаторов. Основные показатели качества катализаторов: активность, селективность, термостабильность, механическая прочность, пористая структура, гидравлическое сопротивление и др. Реологические и структурно-механические свойства катализаторных пластических масс, позволяющих осуществлять их эффективную грануляцию; Текстульные характеристики катализатора и их влияние на активность и селективность. Оптимизация геометрических размеров и форм катализаторов

3.3. Катализ в переработке природного газа. Получение синтез-газа. Получение метанола. Синтез Фишера-Тропша. Каталитические процессы глубокого и парциального гидрирования и окисления. Катализаторы гидрирования. Спилловер водорода. Гидрирование масел и гидрооблагораживание моторных топлив. Синтез аммиака. Катализаторы и реакторы глубокого и парциального окисления.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
<b>Знать:</b>				
1	основы современных теорий гетерогенного катализа, компонентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и способах производства катализаторов;	+		+
2	основные отечественные и мировые достижения в области гетерогенного катализа;	+		
3	физико-химические закономерности современных каталитических явлений и их природу;	+	+	
4	методы приготовления катализаторов, области их практического применения;			+
5	методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов;	+	+	
6	основные типы и конструкции аппаратов, технологию и общие принципы осуществления каталитических процессов.			+
<b>Уметь:</b>				
7	применять методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов;	+	+	+
8	самостоятельно ставить задачи физико-химических исследований катализаторов, выбирать обоснованные решения и методы при синтезе гетерогенных катализаторов;	+	+	+
9	самостоятельно выполнять научно-исследовательскую работу и добиваться научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям.		+	+
<b>Владеть:</b>				
10	способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области гетерогенного катализа с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;	+	+	+
11	методами расчёта кинетических параметров и математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов;	+	+	+
12	способностью и готовностью к анализу физико-химических закономерностей современных каталитических явлений;	+	+	
13	приёмами управления реологическими и структурно-механическими свойствами катализаторных пластических масс, позволяющих осуществлять их эффективную грануляцию.			+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <i>универсальные</i> и <i>профессиональные</i> компетенции и индикаторы их достижения:					
	<b>Код и наименование УК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения УК</b>	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
14	УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия	УК-1.1. Знает методы осуществления поиска вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации	+	+	+
15		УК-1.2. Умеет определять в рамках выбранного алгоритма вопросы или задачи, подлежащие дальнейшей разработке	+	+	+
16		УК-1.3. Владеет способами планирования работы для решения поставленных задач	+	+	+
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
17	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.1. Знает современные методы, используемые при проведении научных исследований в области реализации принципов энерго- и ресурсосбережения и основные этапы выполнения научно-исследовательской работы	+	+	
18		ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности			+
19		ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Основные понятия каталитической реакции. Ленгмюровская кинетика и механизм каталитических реакций в идеальных адсорбированных слоях с использованием уравнения изотермы Ленгмюра.	4
2	1	Многомаршрутные реакции, базис маршрутов, выход и анализ кинетических моделей. Применение закона действующих поверхностей в метода квазистационарных концентраций для вывода кинетических уравнений химических реакций. Исследование механизмов Ленгмюра-Хиншельвуда (ассоциативный механизм) и Эли-Ридила (ударный механизм). Анализ кинетических уравнений гетерогенно-каталитических реакций различного порядка.	4
3	1	Макрокинетика процесса на зерне катализатора. Процесс на непористом зерне катализатора. Режимы процесса, анализ процесса, протекающего в кинетической и диффузионных областях для зерна катализатора в форме пластинки.	4
4	1	Процесс в пористом зерне катализатора, построение моделей, их решение. Модуль Тиле-Зельдовича, наблюдаемая скорость превращения и степень использования внутренней поверхности (эффективность процесса).	6
5	2	Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов. Анализ процесса в слое катализатора. Изотермический процесс в неподвижном слое катализатора. Обоснование и построение модели.	4
6	2	Неизотермический процесс в неподвижном слое катализатора – обоснование и построение моделей. Адиабатический процесс, профили температур и концентраций. Критические тепловые явления в гетерогенном процессе. Неоднозначность и гистерезис стационарных режимов.	4
7	2	Автотермический реактор, профили температур и концентраций, неоднозначность режимов. Многослойные адиабатические реакторы, трубчатые реакторы, реакторы с зернистым и блочным катализатором, с движущимися и кипящими слоями, основные конструкционные решения.	4
8	3	Теоретический оптимальный режим для простых обратимых реакций. Оптимальные адиабатические реакторы с промежуточными теплообменниками и с подачей холодного сырья.	4

## 6.2 Лабораторные занятия

Учебным планом проведение лабораторных занятий не предусмотрено.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение лекционного материала и учебника по дисциплине;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу дисциплины;
- подготовку к сдаче *экзамена* по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка **60** баллов) и итогового контроля в форме *экзамена* (максимальная оценка **40** баллов).

### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено **3** контрольные работы. Максимальная оценка за контрольные работы составляет **20** баллов за каждую контрольную работу.

#### Раздел 1. Пример контрольной работы № 1. Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

1. Как изменится наблюдаемая скорость процесса, отнесенная к внешней поверхности катализатора при скорости потока в 1,5 раза большей первоначальной, если химический процесс протекает на непористом катализаторе в форме проволоки диаметром 0,4 мм протекает реакция первого порядка. Константа скорости задана уравнением  $k = 1,0 \cdot 10^{16} \exp\left(-\frac{125000}{RT}\right)$ , с<sup>-1</sup>. Коэффициент массообмена  $\beta$  равен 0,7 см/с, не зависит от температуры и значение его пропорционально линейной скорости потока  $\omega^{0.5}$ . Температура процесса 200 °С.
2. Какая будет при этих условиях лимитирующая стадия процесса?

#### Раздел 2. Пример контрольной работы № 2. Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

1. Рассчитать и построить зависимости  $\ln K_n\left(\frac{1}{T}\right)$  и коэффициента использования внутренней поверхности зерна катализатора в форме пористой пластинки шириной 8 мм от температуры в интервале 200 – 350 °С для реакции  $A \rightarrow R$  с константой скорости в размерности ч<sup>-1</sup>, определяемой уравнением Аррениуса, в котором энергия активации составляет 76 кДж/моль, а предэкспоненциальный множитель равен  $3,7 \cdot 10^{10}$ ., коэффициент эффективной диффузии не зависит от температуры и равен 0,10 см<sup>2</sup>/с.

2. Построить зависимости  $\ln K_n \left( \frac{1}{T} \right)$  и коэффициента использования внутренней поверхности от температуры в интервале 200 – 350 °С. На обоих графиках обозначить области протекания процесса, если таковые имеются, и определить возможное изменение энергии активации. Рассчитать, как изменится наблюдаемая скорость процесса при температуре 250 °С, если использовать катализатор с размером зерна в два раза меньше?

**Разделы 2 и 3. Пример контрольной работы № 3. Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа содержит 3 вопроса, по 3 балла за первый и второй вопрос, 4 балла за третий вопрос.**

1. Определить степени превращения диоксида серы на выходе из каждого слоя катализатора в адиабатическом многослойном реакторе с кипящими слоями катализатора для процесса окисления диоксида серы. Процесс окисления диоксида описывается реакцией



Исходные данные: концентрация диоксида серы равна 9 об. %, кислорода -11 об. %, остальное азот. Реактор содержит 3 слоя катализатора, температура на входе в реактор 420 °С, в 1-м слое она равна 580 °С, во втором 495 °С и 3-м – 430 °С.

2. В координатах « $T$ - $x$ » рассчитать и построить равновесную кривую и линию оптимальных температур для реакции окисления диоксида серы.

3. Как можно сопоставить режим действующего реактора с оптимальным режимом? Выберите и определите критерий сравнения.

## **8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины.**

Билет для *экзамена* включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит 3 вопроса. Первый вопрос – 15 баллов, второй вопрос – 15 баллов, третий вопрос – 10 баллов.

### **8.2.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (экзамена)**

1. Катализ – определение, история развития, сущность катализа, классификация.
2. Основные направления развития катализа в настоящее время.
3. Классификация каталитических процессов. Гомогенный катализ. Ферментативный катализ. Бифазный катализ. Фотокатализ. Мембранный катализ
4. Стадии гетерогенно-каталитической реакции.
5. Энергетический профиль каталитических процессов.
6. Стационарный и квазистационарный режимы катализатора.
7. Основные понятия каталитической реакции: элементарная стадия, механизм, маршрут, стехиометрическое число, брутто-реакция, скорость превращения и скорость реакции, порядок реакции, кинетическая модель.
8. Каталитическая активность и способы ее выражения.
9. Измерение каталитической активности.
10. Классификация катализаторов, основы их получения.
11. Адсорбционные процессы в катализе
12. Изотерма адсорбции Ленгмюра. Ассоциативная и диссоциативная адсорбция.
13. Теория полимолекулярной адсорбции.
14. Определение текстурных характеристик катализаторов

15. Пористость. Исследование пористой структуры катализаторов.
16. Хемосорбция. Особенности протекания хемосорбции.
17. Хемосорбционные методы определения активной поверхности.
18. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций. Активность, селективность, выход.
19. Закон действующих поверхностей.
20. Механизм Или-Ридила.
21. Кинетика Ленгмюра-Хиншелвуда каталитических моно-и бимолекулярных реакций и их стадии. Кинетика сложных каталитических реакций.
22. Структура пористого зерна катализатора. Параметры пористой структуры.
23. Лимитирующая стадия, способы интенсификации процесса на промышленном зерне катализатора
24. Общая скорость гетерогенного каталитического процесса, его кинетическая, внешне- и внутридиффузионная области
25. Процесс в пористом зерне катализатора форме пластинки, обоснование и построение квазигомогенной математической модели процесса в нём.
26. Решение и анализ математической модели для реакции первого порядка.
27. Модуль Зельдовича-Тиле.
28. Наблюдаемая скорость превращения и степень использования внутренней поверхности (эффективность процесса), режимы процесса (кинетический, внутридиффузионный и переходный).
29. Сопоставление показателей процессов в зернах различной геометрической формы.
30. Реакторы для гетерогенно-каталитических процессов.
31. Реакторы с неподвижным слоем катализатора
32. Структура слоя катализатора и каталитического процесса в нём.
33. Анализ процесса в слое катализатора.
34. Изотермический процесс в неподвижном слое катализатора.
35. Обоснование и построение модели, профили концентраций (степени превращения) при протекании простой (необратимой, обратимой) и сложной реакции.
36. Влияние условий протекания процесса (скорость потока реагентов, концентраций компонентов, температуры) на показатели процесса.
37. Неизотермический процесс в неподвижном слое катализатора – обоснование и построение моделей.
38. Величина адиабатического разогрева.
39. Определение параметров теплоотвода.
40. Анализ процесса в адиабатических условиях и с теплообменом- профили температур и концентраций, влияние параметров.
41. Критические тепловые явления в гетерогенном процессе.
42. Неоднозначность и гистерезис стационарных режимов.
43. Процесс с теплообменом (в трубчатом реакторе), профили температур и концентраций для экзо- и эндотермических реакций.
44. Влияние условий протекания процесса на его показатели. Особенность процесса – наличие "горячей точки", её роль при практическом осуществлении процесса.
45. Автотермический реактор – описание процесса, профили температур и концентраций, неоднозначность режимов.
46. Многослойные адиабатические реакторы,
47. Трубчатые реакторы, реакторы с зернистым и блочным катализатором.
48. Процесс в псевдооживленном слое катализатора и реакторы для них. Структура процесса и обоснование модели, математическое описание.

49. Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора - основные конструктивные решения, преимущества и недостатки, способы интенсификации. Особенности и область применения процесса
50. Оптимизация каталитических процессов и реакторов - понятие и постановка задачи.
51. Теоретический оптимальный режим - оптимальные температура для простых обратимых и необратимых каталитических реакций.
52. Линия оптимальных температур. Выбор типа реактора.
53. Оптимальные адиабатические реакторы с промежуточными теплообменниками и с подачей холодного сырья.
54. Научные основы управляемого синтеза катализаторов. Классификация катализаторов.
55. Основные показатели качества катализаторов: активность, селективность, термостабильность, механическая прочность, пористая структура, гидравлическое сопротивление и др.
56. Реологические и структурно-механические свойства катализаторных пластических масс, позволяющих осуществлять их эффективную грануляцию.
57. Текстурные характеристики катализатора и их влияние на активность и селективность.
58. Оптимизация геометрических размеров и форм катализаторов.
59. Основные характеристики катализаторов и их зависимость от условий приготовления.
60. Основные этапы и методы приготовления катализаторов.
61. Нанесенные катализаторы.
62. Спилловер водорода. Эффект взаимодействия «металл-носитель».
63. Блочные катализаторы сотовой структуры и на основе высокопористых ячеистых материалов.
64. Катализ в переработке природного газа.
65. Каталитическая очистка природного газа от серы
66. Методы получения синтез-газа окислительной конверсией метана.
67. Синтез метанола и диметилового эфира.
68. Синтез Фишера-Тропша.
69. Каталитические процессы глубокого и парциального гидрирования и окисления.
70. Катализаторы гидрирования.
71. Гидрирование масел и гидрооблагораживание моторных топлив.
72. Синтез аммиака. Интенсификация производства синтеза аммиака
73. Катализаторы и реакторы глубокого и парциального окисления.
74. Очистка выбросов дизельных двигателей.
75. Каталитическая очистка газовых выбросов от оксидов азота.
76. Очистка выхлопных газов автотранспорта.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

### 8.3. Структура и примеры билетов для экзамена

Экзамен по дисциплине «Гетерогенный катализ и промышленные каталитические процессы» проводится в 1-ом семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для экзамена состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для экзамена:

«Утверждаю» заведующий кафедрой ОХТ _____ В.Н. Грунский «__» _____ 2024 г.	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра Общей химической технологии</b>
	<b>18.04.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии</b>
	<b>Магистерская программа «Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии» Дисциплина: Гетерогенный катализ и промышленные каталитические процессы</b>
<b>Билет № 1</b>	
1. Основные направления развития катализа в настоящее время	
2. Механизм Или-Ридила	
3. Синтез Фишера-Тропша	

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### А. Основная литература

1. Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы: учебное пособие / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 200 с. – ISBN 978-5-8114-2158-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/212642> (дата обращения: 31.03.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Б. Дополнительная литература

1. Бесков В. С, Флокк В. Моделирование каталитических процессов и реакторов. М.: Химия, 1991. – 256 с.

2. Ванчури В. И., Грунский В. Н. Гетерогенно-каталитические процессы в примерах и задачах. Ч. 1: учебно-методическое пособие – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 32 с.

### 9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Катализ в промышленности» ISSN 2070-0504
- Журнал «Кинетика и катализ» ISSN 0453-8811

### 9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 120);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число билетов – 40);
- компьютерные презентации интерактивных лекций (общее число слайдов – 270).

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2024 составляет 1 559 436 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Гетерогенный катализ и промышленные каталитические процессы»* проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Лекционная учебная аудитория, оборудованная меловой доской и учебной мебелью, учебная аудитория для проведения практических занятий, оборудованная меловой доской и учебной мебелью, компьютерный зал с 14 рабочими местами и 14 персональными компьютерами.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Презентации лекционного материала.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Для самостоятельной работы каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к нескольким электронно-библиотечным системам (электронным библиотекам), содержащим все издания основной литературы, перечисленные в рабочей программе дисциплины, сформированным на основании прямых договорных отношений с правообладателями.

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине, методические рекомендации к практическим занятиям; раздаточный материал к лекционным курсам; электронные учебные издания.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционных курсов; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде.

### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	WINDOWS 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013 от 02.12.2013	14	бессрочно
2	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.	Контракт №72-99ЭА/2022 от 29.08.2022	14	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1.</b></p> <p>Кинетика каталитических реакций. Процесс в зерне катализатора.</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основы современных теорий гетерогенного катализа, компонентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и способах производства катализаторов;</li> <li>– основные отечественные и мировые достижения в области гетерогенного катализа;</li> <li>– физико-химические закономерности современных каталитических явлений и их природу;</li> <li>– методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов;</li> <li>– самостоятельно ставить задачи физико-химических исследований катализаторов, выбирать обоснованные решения и методы при синтезе гетерогенных катализаторов.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области гетерогенного катализа с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;</li> <li>– методами расчёта кинетических параметров и математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов;</li> <li>– способностью и готовностью к анализу физико-химических закономерностей современных</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу № 1</p> <p>Оценка за контрольную работу № 2</p> <p>Оценка за экзамен</p>

	каталитических явлений.	
<p><b>Раздел 2.</b> Каталитические процессы в реакторе</p>	<p><i>Знает:</i> – физико-химические закономерности современных каталитических явлений и их природу; – методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов.</p> <p><i>Умеет:</i> – применять методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов; – самостоятельно ставить задачи физико-химических исследований катализаторов, выбирать обоснованные решения и методы при синтезе гетерогенных катализаторов; – самостоятельно выполнять научно-исследовательскую работу и добиваться научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям.</p> <p><i>Владеет:</i> – способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области гетерогенного катализа с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий; – методами расчёта кинетических параметров и математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов; – способностью и готовностью к анализу физико-химических закономерностей современных каталитических явлений.</p>	<p>Оценка за контрольную работу № 3</p> <p>Оценка за экзамен</p>
<p><b>Раздел 3.</b> Оптимизация каталитических процессов и реакторов. Основные промышленные каталитические процессы. Типы катализаторов,</p>	<p><i>Знает:</i> – основы современных теорий гетерогенного катализа, компонентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и способах производства катализаторов; – методы приготовления</p>	<p>Оценка за контрольную работу № 3</p> <p>Оценка за экзамен</p>

<p>научные основы их приготовления.</p>	<p>катализаторов, области их практического применения;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные типы и конструкции аппаратов, технологию и общие принципы осуществления каталитических процессов.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять методы математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов, в том числе, в масштабе промышленных реакторов;</li> <li>– самостоятельно ставить задачи физико-химических исследований катализаторов, выбирать обоснованные решения и методы при синтезе гетерогенных катализаторов;</li> <li>– самостоятельно выполнять научно-исследовательскую работу и добиваться научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области гетерогенного катализа с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;</li> <li>– методами расчёта кинетических параметров и математического моделирования для описания и анализа каталитических процессов;</li> <li>– приёмами управления реологическими и структурно-механическими свойствами катализаторных пластических масс, позволяющих осуществлять их эффективную грануляцию.</li> </ul>	
---	--	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

– Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 06.04.2021 № 245);

– Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

– Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Гетерогенный катализ и промышленные каталитические процессы»**

**основной образовательной программы  
18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии**

**магистерская программа  
«Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии»**

Форма обучения: *очная*

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета  
протокол № 1 от «29» августа 2024 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«СОВРЕМЕННЫЕ СОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ»**

**Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

**Магистерская программа – «Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в  
химической технологии»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2024**

Программа составлена:

профессором кафедры ОХТ, д.т.н., Ванчуриным В.И.

заведующим кафедрой ОХТ, д.т.н., Грунским В.Н.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Общей химической технологии «16» мая 2024 г., протокол № 9.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **Общей химической технологии** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение **одного** семестра.

Дисциплина **«Современные сорбционно-каталитические процессы»** относится к дисциплинам по выбору части дисциплин учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики и естественнонаучных дисциплин.

**Цель дисциплины** – получение знаний об основных принципах организации, структуре, функциональном составе и компонентах химического производства, методах оценки эффективности его функционирования, анализе и синтезе ХТС, об энерго- и ресурсосберегающих, безотходных и малоотходных технологиях на примерах современных химических производств.

**Цель дисциплины** – приобретение магистрантами знаний, умений, владений и компетенциями в области теории и практики промышленных сорбционных процессов и каталитических систем и использование их результатов в профессиональной деятельности.

**Задача дисциплины** – изучение кинетики адсорбционных и гетерогенных каталитических процессов, выявление факторов, влияющих на основные параметры повышения эффективности производства путем применения новых адсорбционных и каталитических систем, расширение области знаний, связанной с адсорбционными и каталитическими технологиями, с развитием рынка и тенденциями в синтезе новых адсорбентов и катализаторов, ознакомление с промышленными технологиями, номенклатурой и свойствами промышленных адсорбентов и катализаторов, развитие способностей к анализу и совершенствованию технологий на примерах типовых процессов и методов расчета адсорбционных и каталитических установок.

Дисциплина **«Современные сорбционно-каталитические процессы»** преподается в **3-ем** семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	- Химическое, химико-технологическое производство  - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-	ПК-2. Готов к анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	ПК-2.1. Знает теорию эксперимента в области своей профессиональной направленности и методики анализа явлений и процессов	40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (уровень квалификации – 7)
		ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.1. Знает методы и средства определения показателей энергоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности	40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (уровень квалификации – 7)

	технологического производства).		ПК-3.2. Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов		
			ПК-3.3. Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности		
		ПК-4. Готов разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку	ПК-4.1 Знает научные основы построения моделей и организации процессов современных химических производств		40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (уровень квалификации – 7)
			ПК-4.2 Умеет решать задачи оптимизации процессов химической технологии		
			ПК-4.3 Владеет пакетом прикладных программ для обработки результатов		

			экспериментов и моделирования процессов в области профессиональной деятельности.	
		ПК-5. Способен на основе научных исследований разрабатывать и внедрять технологические решения в области профессиональной деятельность	ПК-5.1 знает научные и технико-экономические аспекты энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (уровень квалификации – 7)
	ПК-5.2 умеет на основе научных исследований создавать теоретические модели технологических процессов, позволяющих прогнозировать технологические параметры и разрабатывать новые технические и технологические решения			
	ПК-5.3 владеет методологией и методикой анализа, синтеза и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности			

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- физико-химические закономерности современных адсорбционных и каталитических явлений и их природу;
- характеристики промышленных адсорбентов и катализаторов;
- математические модели сорбционных и каталитических процессов;
- основные методы исследования современных сорбционных процессов и каталитических систем;
- примеры применения адсорбционно-каталитических технологий для очистки газов и жидкостей;
- основные типы и конструкции аппаратов, технологию и общие принципы осуществления адсорбционных и каталитических процессов.

*Уметь:*

- использовать методы исследования и определения технологических параметров адсорбционно-каталитических процессов;
- использовать технические средства управления современными сорбционными процессами и каталитическими системами с использованием различных форм энергии;
- применять методы математического моделирования для описания и анализа сорбционных и каталитических процессов.

*Владеть:*

- способностью к постановке и формулированию задач научных исследований на основе результатов анализа научно-технической информации;
- методами организации и расчёта систем оптимального управления высокоэффективными энерго- и ресурсосберегающими современными сорбционными процессами и каталитическими системами;
- методами определения параметров математических моделей технологических аппаратов по экспериментальным данным.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>7</b>	<b>252</b>	<b>189</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>2,36</b>	<b>85</b>	<b>64</b>
Лекции	0,47	17	13
Практические занятия (ПЗ)	1,89	68	51
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3,64</b>	<b>131</b>	<b>98</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	3,64	131	98
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>экзамен</b>		

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лек	ПЗ	СР
<b>1</b>	<b>Раздел 1. Введение. Физико-химические основы адсорбционно-каталитических процессов</b>	<b>101</b>	<b>7</b>	<b>34</b>	<b>60</b>
<b>2</b>	<b>Раздел 2. Технология и расчёт адсорбционно-каталитических процессов</b>	<b>115</b>	<b>10</b>	<b>34</b>	<b>71</b>
	<b>ИТОГО</b>	<b>216</b>	<b>17</b>	<b>68</b>	<b>131</b>
	<b>Экзамен</b>	<b>36</b>			
	<b>ИТОГО</b>	<b>252</b>			

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### **Раздел 1. Введение. Физико-химические основы адсорбционно-каталитических процессов.**

1.1. Краткая историческая справка развития газо– и жидкофазных сорбционно – каталитических процессов и их значение для развития химической технологии. Применение адсорбционно-каталитических технологий для решения экологических проблем, в пищевой промышленности, медицине, в космосе и на подводных лодках, в процессах рекуперации углеводородов и легких нефтепродуктов, локализации радионуклидов при переработке отработанного ядерного топлива. Адсорбция и ее роль в катализе.

1.2. Адсорбционные силы. Адсорбенты, их строение, свойства и технология получения. Адсорбционное равновесие. Основные теории адсорбции. Расчет текстурных характеристик адсорбентов и величин адсорбции с использованием современных теоретических подходов.

1.3. Кинетика адсорбции. Изотермическая и адиабатическая модели динамики неравновесной адсорбции и десорбции. Методы регенерации и реактивации насыщенных адсорбентов.

1.4. Обзор новых видов адсорбентов. Физическая адсорбция. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса. Определение пористости. Адсорбция на неоднородной поверхности. Химическая адсорбция. Реакционная способность поверхности. Критерии различия физической и химической адсорбции. Изотерма адсорбции Ленгмюра. Десорбция.

1.5. Кинетика гетерогенно-каталитических реакций. Определение активности, числа оборотов, селективности, элементарного акта, маршрута реакции. Стационарный и квазистационарный режимы катализа.

1.6. Диффузионная кинетика. Каталитические реакции в нестационарном режиме. Применение физических методов *in situ*.

### **Раздел 2. Технология и расчет адсорбционно–каталитических процессов.**

2.1. Принципы приготовления адсорбционных катализаторов. Основные типы распределения активного компонента на напористом носителе. Характеристика пористой структуры и методы ее создания. Определение удельной поверхности адсорбционных катализаторов. Анализ изотермы адсорбции пористого тела. Процессы с регенерацией адсорбента и подводом тепла через стенку.

2.2. Капиллярная конденсация. Уравнение Кельвина. Процессы очистки и разделения газов с термической регенерацией адсорбентов. Особенности технологии и аппаратуры процессов. Принципы проектирования установок.

2.3. Короткоцикловые процессы с безнагревной регенерацией адсорбента (КБА). Особенности кинетики и динамики процессов КБА.

2.4. Гидродинамические процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора (сорбента). Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя. Основные модели сорбционных и каталитических реакторов. Структура пористого зерна катализатора, обоснование и использование квазигомогенной модели процесса. Взаимодействие диффузионных явлений с химической реакцией.

2.5. Структура и основные характеристики зернистого слоя катализатора и сорбента. Сопоставление показателей процессов в зернах различной геометрической

формы. Оптимальные размеры и форма зёрен катализатора и сорбента. Динамика газовых потоков в зернистом слое. Неоднородность потоков, ее влияние на характеристики процесса. Анализ процессов при протекании реакций с различными кинетическими моделями, оценка эффективности процесса в диффузионной области. Гидравлические режимы движения реагентов. Критерий Рейнольдса. Расчет гидравлического сопротивления.

2.6. Процессы переноса вещества и тепла между наружной поверхностью зерен катализатора и сорбента и реакционным потоком. Уравнения материального и теплового балансов. Влияние внешнего массо- и теплообмена на скорость каталитической реакции. Многослойные адиабатические реакторы, трубчатые реакторы, реакторы с зернистым и блочным катализатором, с движущимся и кипящим слоями, основные конструктивные решения, особенности процессов. Влияние продольной и радиальной теплопроводности и диффузии реагентов. Сравнение эффективности работы адиабатического и трубчатого реакторов. Реакторы для быстропротекающих процессов с катализатором в виде сеток. Реакторы с взвешенным и движущимся слоями катализатора. Области существования взвешенного слоя. Преимущества и недостатки. Реакторы с восходящим потоком. Полифункциональные мембранные реакторы. Противоточные адсорбционно-каталитические реакторы с подвижными слоями катализатора

2.7. Конструкции каталитических реакторов в современных химических производствах, их основные характеристики. Требования к конструкции реакторов. Факторы, определяющие выбор типа реактора. Оптимальные температурные режимы для необратимых и обратимых реакций. Оптимальные схемы реакторов для осуществления простых и сложных реакций. Оптимальные адиабатические реакторы с промежуточными теплообменниками и с подачей холодного сырья.

2.8. Роль сорбционно-каталитических процессов в решении экологических проблем. Сорбционно-каталитические процессы в системах жизнеобеспечения в замкнутых обитаемых объектах. Современные сорбционно-каталитические технологии локализации газообразных радионуклидов в процессах обращения с радиоактивными отходами. Сорбционно-каталитическая очистка от вредных газов: CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и др. Очистка природного газа от серосодержащих соединений.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2
<b>Знать:</b>			
1	физико-химические закономерности современных адсорбционных и каталитических явлений и их природу;	+	
2	характеристики промышленных адсорбентов и катализаторов;		+
3	математические модели сорбционных и каталитических процессов;	+	
4	основные методы исследования современных сорбционных процессов и каталитических систем;	+	+
5	примеры применения адсорбционно-каталитических технологий для очистки газов и жидкостей;		+
6	основные типы и конструкции аппаратов, технологию и общие принципы осуществления адсорбционных и каталитических процессов.		+
<b>Уметь:</b>			
7	использовать методы исследования и определения технологических параметров адсорбционно-каталитических процессов;	+	+
8	использовать технические средства управления современными сорбционными процессами и каталитическими системами с использованием различных форм энергии;		+
9	применять методы математического моделирования для описания и анализа сорбционных и каталитических процессов.	+	+
<b>Владеть:</b>			
10	способностью к постановке и формулированию задач научных исследований на основе результатов анализа научно-технической информации;	+	+
11	методами организации и расчёта систем оптимального управления высокоэффективными энерго- и ресурсосберегающими современными сорбционными процессами и каталитическими системами;		+
12	методами определения параметров математических моделей технологических аппаратов по экспериментальным данным.	+	+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <i>профессиональные</i> компетенции и индикаторы их достижения:				
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>	<b>Раздел 1</b>	<b>Раздел 2</b>
13	ПК-2. Готов к анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	ПК-2.1. Знает теорию эксперимента в области своей профессиональной направленности и методики анализа явлений и процессов	+	+
14	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.1. Знает методы и средства определения показателей энергоресурсоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности	+	
15		ПК-3.2. Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов		+
16		ПК-3.3. Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности	+	+
17	ПК-4. Готов разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку	ПК-4.1. Знает научные основы построения моделей и организации процессов современных химических производств	+	
18		ПК-4.2. Умеет решать задачи оптимизации процессов химической технологии		+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Адсорбционные силы. Адсорбенты, их строение, свойства и технология получения. Адсорбционное равновесие. Основные теории адсорбции. Расчет текстурных характеристик адсорбентов и величин адсорбции с использованием современных теоретических подходов	6
2	1	Кинетика адсорбции. Изотермическая и адиабатическая модели динамики неравновесной адсорбции и десорбции	6
3	1	Обзор новых видов адсорбентов. Физическая адсорбция. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса. Адсорбция на неоднородной поверхности. Химическая адсорбция	7
4	1	Кинетика гетерогенно-каталитических реакций. Стационарный и квазистационарный режимы катализа	7
5	1	Диффузионная кинетика. Каталитические реакции в нестационарном режиме. Применение физических методов <i>in situ</i>	8
6	2	Основные типы распределения активного компонента на непористом носителе. Характеристика пористой структуры и методы ее создания. Определение удельной поверхности адсорбционных катализаторов	4
7	2	Капиллярная конденсация. Уравнение Кельвина. Процессы очистки и разделения газов с термической регенерацией адсорбентов	4
8	2	Процессы с регенерацией адсорбента и подводом тепла через стенку. Короткоцикловые процессы с безнагревной регенерацией адсорбента (КБА). Особенности кинетики и динамики процессов КБА	4
9	2	Гидродинамические процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора (сорбента). Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя. Основные модели сорбционных и каталитических реакторов. Структура пористого зерна катализатора, обоснование и использование квазигомогенной модели процесса. Взаимодействие диффузионных явлений с химической реакцией	4
10	2	Расчет эффективного коэффициента диффузии. Определение зависимости степени использования зерна катализатора от модуля Тиле для простой и сложной реакции при постоянной температуре и с учетом неизотермичности зерна. Оценка условий, при которых	5

		зерно катализатора работает в кинетической области.	
11	2	Основные характеристики каталитического процесса: степень превращения, селективность процесса, выход продукта, нагрузка по реагенту, производительность по продукту, адиабатический разогрев процесса. Расчет основных характеристик для конкретных процессов: окисление метанола до формальдегида (две последовательные реакции); окисление этилена (две параллельные реакции).	5
12	2	Расчет производительности установки, состоящей из нескольких, соединенных последовательно и/или параллельно слоев катализатора и сорбента. Организация оптимальной загрузки каталитических и сорбционных слоев. Расчет оптимальных полей скоростей, температур и давлений в реакторе. Оценка числа стационарных состояний работы реакторов. Оптимизация работы реакторов по различным комплексным критериям. Организация энерго- и ресурсосберегающих каталитических и сорбционных процессов. Примеры	6
13	2	Примеры реализации сорбционно-каталитических процессов в химической технологии	2

## 6.2 Лабораторные занятия

Учебным планом проведение лабораторных занятий не предусмотрено.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение лекционного материала и учебника по дисциплине;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу дисциплины;
- подготовку к сдаче *экзамена* по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка **60** баллов) и итогового контроля в форме **экзамена** (максимальная оценка **40** баллов).

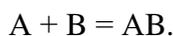
### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено **2** контрольных работы. Максимальная оценка за каждую контрольную работу составляет **30** баллов.

#### Раздел 1. Пример контрольной работы № 1. Максимальная оценка – 30 баллов. Контрольная работа содержит 3 вопроса, по 10 баллов за вопрос.

1. Рассчитать величину адсорбции паров бензола на активном угле при его концентрации в потоке газа-носителя  $c_0 = 2 \text{ г/м}^3$  при  $30^\circ\text{C}$ . Плотность бензола составляет  $0,87 \text{ г/см}^3$ , а давление насыщенного пара  $p_s = 15,7 \text{ кПа}$ . Предельный объем микропор в адсорбенте  $0,42 \text{ см}^3/\text{г}$ ,  $E_0 = 20,8$  (для стандартного пара азота). Коэффициент аффинности бензола  $\beta = 3,05$ .

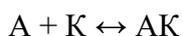
2. Экспериментально изучали гетерогенно-каталитическую реакцию



Найдено, что скорость реакции при некоторых условиях описывается уравнением:

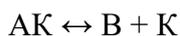
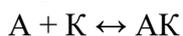
$$r = \frac{0,72c_A}{2,8 + 0,2c_{AB}}$$

Проверить на соответствие данному уравнению следующий механизм, включающий 2 обратимые элементарные стадии:



Какие при этом следует сделать допущения?

3. Гетерогенно-каталитическая реакция  $A = B$  протекает по механизму, включающему две обратимые элементарные стадии:



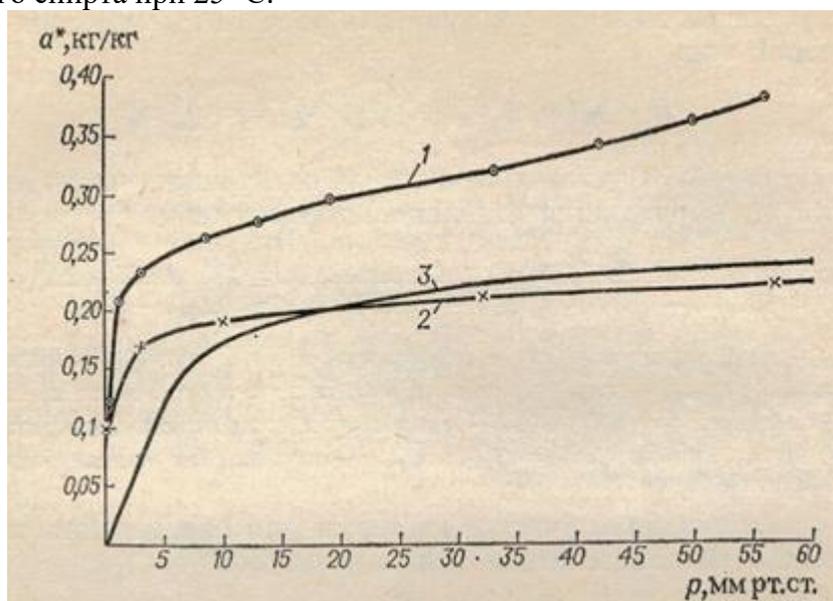
Адсорбция вещества  $A$  подчиняется уравнению Ленгмюра.

а) Написать выражения для скоростей элементарных стадий и вывести кинетическое уравнение реакции;

б) При каких допущениях кинетическое уравнение реакции можно считать уравнением нулевого порядка по компоненту  $A$ ?

**Раздел 2. Пример контрольной работы № 2. Максимальная оценка – 30 баллов. Контрольная работа содержит 3 вопроса, по 10 баллов за вопрос.**

1. По изотерме адсорбции бензола при 20 °С (рисунок) построить изотерму адсорбции паров этилового спирта при 25 °С.



2. Константа скорости каталитической реакции  $A \rightarrow R$  в  $\text{с}^{-1}$  определяется уравнением Аррениуса, в котором энергия активации составляет 56 кДж/моль, а предэкспоненциальный множитель равен  $1,25 \cdot 10^4$ . Ширина пластинки зерна катализатора равна 13 мм, эффективный коэффициент диффузии не зависит от температуры и равен  $0,2 \text{ см}^2/\text{с}$ .

- Рассчитать и построить зависимости  $\ln k_n \left( \frac{1}{T} \right)$  и коэффициента использования внутренней поверхности от температуры в интервале 500 – 800 К. На обоих графиках обозначить области протекания процесса и определить возможное изменение энергии активации;
- Как изменится наблюдаемая скорость процесса при температуре 580 К, если использовать катализатор с размером зерна в два раза больше?

3. Окисление диоксида серы осуществляют на зернистом катализаторе цилиндрической формы диаметром 5 мм и высотой 10 мм. Скорость реакции описывается уравнением первого порядка с константой скорости  $k = 2,8 \text{ с}^{-1}$ , измеренной в кинетической области при температуре 758 К. Энергия активации химической реакции равна 77,7 кДж/моль. Степень использования внутренней поверхности катализатора при 758 К равна 0,7. Считать, что эффективный коэффициент диффузии не зависит от температуры.

- в интервале температур 700–800 К рассчитать коэффициент эффективной диффузии  $D_{\text{эфф}}$ ;
- что можно сказать об области протекания процесса?

## 8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины.

Билет для *экзамена* включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит 2 вопроса. Первый вопрос – 20 баллов, второй вопрос – 20 баллов.

### 8.2.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (*экзамена*)

1. Применение адсорбционно-каталитических технологий для решения экологических проблем, в пищевой промышленности, медицине, в космосе и на подводных лодках, в процессах рекуперации углеводородов и легких нефтепродуктов, локализации радионуклидов при переработке отработанного ядерного топлива
2. Адсорбция и ее роль в катализе.
3. Адсорбенты, их строение, свойства и технология получения.
4. Адсорбционное равновесие. Основные теории адсорбции.
5. Расчет текстурных характеристик адсорбентов и величин адсорбции с использованием современных теоретических подходов.
6. Кинетика адсорбции. Изотермическая и адиабатическая модели динамики неравновесной адсорбции и десорбции.
7. Методы регенерации и реактивации насыщенных адсорбентов.
8. Стационарный и квазистационарный режимы катализатора.
9. Физическая адсорбция. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса.
10. Адсорбция на неоднородной поверхности. Химическая адсорбция. Реакционная способность поверхности.
11. Критерии различия физической и химической адсорбции. Изотерма адсорбции Ленгмюра. Десорбция.
12. Диффузионная кинетика. Каталитические реакции в нестационарном режиме. Применение физических методов *in situ*.
13. Измерение каталитической активности.
14. Адсорбционные процессы в катализе. Ассоциативная и диссоциативная адсорбция. Теория полимолекулярной адсорбции.
15. Определение текстурных характеристик катализаторов и сорбентов. Пористость. Исследование пористой структуры катализаторов и сорбентов.
16. Хемосорбция. Особенности протекания хемосорбции. Хемосорбционные методы определения активной поверхности.
17. Закон действующих поверхностей. Механизм Или-Ридила.
18. Кинетика Ленгмюра-Хиншелвуда каталитических моно-и бимолекулярных реакций и их стадии.
19. Принципы приготовления адсорбционных катализаторов.
20. Основные типы распределения активного компонента на напористом носителе.
21. Характеристика пористой структуры и методы ее создания.
22. Определение удельной поверхности адсорбционных катализаторов.
23. Анализ изотермы адсорбции пористого тела.
24. Процессы с регенерацией адсорбента и подводом тепла через стенку.
25. Капиллярная конденсация. Уравнение Кельвина.

26. Процессы очистки и разделения газов с термической регенерацией адсорбентов. Особенности технологии и аппаратуры процессов.
27. Короткоцикловые процессы с безнагревной регенерацией адсорбента (КБА).
28. Особенности кинетики и динамики процессов КБА.
29. Гидродинамические процессы в реакторах со стационарным слоем катализатора (сорбента).
30. Расчет гидравлического сопротивления неподвижного зернистого слоя.
31. Основные модели сорбционных и каталитических реакторов.
32. Структура пористого зерна катализатора, обоснование и использование квазигомогенной модели процесса.
33. Взаимодействие диффузионных явлений с химической реакцией. Величина адиабатического разогрева.
34. Определение параметров теплоотвода.
35. Анализ процесса в адиабатических условиях и с теплообменом, профили температур и концентраций, влияние параметров.
36. Структура и основные характеристики зернистого слоя катализатора и сорбента.
37. Сопоставление показателей процессов в зернах различной геометрической формы. Оптимальные размеры и форма зерен катализатора и сорбента.
38. Динамика газовых потоков в зернистом слое. Неоднородность потоков, ее влияние на характеристики процесса.
39. Анализ процессов при протекании реакций с различными кинетическими моделями, оценка эффективности процесса в диффузионной области.
40. Гидравлические режимы движения реагентов. Критерий Рейнольдса. Расчет гидравлического сопротивления.
41. Процессы переноса вещества и тепла между наружной поверхностью зерен катализатора и сорбента и реакционным потоком.
42. Уравнения материального и теплового балансов. Влияние внешнего массо- и теплообмена на скорость каталитической реакции.
43. Многослойные адиабатические реакторы, трубчатые реакторы, реакторы с зернистым и блочным катализатором, с движущимся и кипящим слоями, основные конструктивные решения, особенности процессов.
44. Влияние продольной и радиальной теплопроводности и диффузии реагентов. Сравнение эффективности работы адиабатического и трубчатого реакторов.
45. Реакторы для быстропротекающих процессов с катализатором в виде сеток. Реакторы с взвешенным и движущимся слоями катализатора. Области существования взвешенного слоя. Реакторы с восходящим потоком.
46. Полифункциональные мембранные реакторы. Многослойные адиабатические реакторы,
47. Трубчатые реакторы, реакторы с зернистым и блочным катализатором.
48. Конструкции сорбционных и каталитических реакторов в современных химических производствах, их основные характеристики.
49. Требования к конструкции реакторов. Факторы, определяющие выбор типа реактора.
50. Оптимальные температурные режимы для необратимых и обратимых реакций. Оптимальные схемы реакторов для осуществления простых и сложных реакций.

51. Оптимальные адиабатические реакторы с промежуточными теплообменниками и с подачей холодного сырья.
52. Роль сорбционно-каталитических процессов в решении экологических проблем. Сорбционно-каталитические процессы в системах жизнеобеспечения в замкнутых обитаемых объектах.
53. Современные сорбционно–каталитические технологии локализации газообразных радионуклидов в процессах обращения с радиоактивными отходами.
54. Сорбционно-каталитическая очистка от вредных газов: CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и др. Очистка природного газа от серосодержащих соединений.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

### 8.3. Структура и примеры билетов для экзамена

*Экзамен* по дисциплине «*Современные сорбционно-каталитические процессы*» проводится в **3-ом** семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для *экзамена* состоит из **2** вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для *экзамена*:

<p>«Утверждаю»</p> <p>заведующий кафедрой ОХТ</p> <p>_____ В.Н. Грунский</p> <p>«__» _____ 2023 г.</p>	<p><b>Министерство науки и высшего образования РФ</b></p>
	<p><b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b></p>
	<p><b>Кафедра <i>Общей химической технологии</i></b></p>
	<p><b><i>18.04.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии</i></b></p>
	<p><b>Магистерская программа «<i>Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии</i>»</b></p>
<p><b>Дисциплина: <i>Современные сорбционно-каталитические процессы</i></b></p>	
<p><b>Билет № 1</b></p>	
<p>1. Катализ и катализаторы – определение, принцип действия, классификация. Примеры каталитических реакций. Активные центры, каталитический цикл.</p>	
<p>2. Специфика адсорбции слабо сорбирующихся газов. Изотермы избыточной адсорбции. Взаимосвязь полной и избыточной адсорбции.</p>	

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Шумяцкий Ю.И. Промышленные адсорбционные процессы. М.: Колос С, 2009. – 183 с.
2. Алехина М.Б. Промышленные адсорбенты: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. – 112 с.
3. Ванчурина В. И., Грунский В. Н. Гетерогенно-каталитические процессы в примерах и задачах. Ч. 1: учебно-методическое пособие – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 32 с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. Бесков В. С. Общая химическая технология, М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 452 с.
2. Общая химическая технология в вопросах и ответах. Ч. 1.: Методическое пособие/ сост.: В.С. Бесков, В. И. Ванчурина, В. И. Игнатенков: – М. РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2011. – 83 с.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Катализ в промышленности» ISSN 2070-0504
- Журнал «Кинетика и катализ» ISSN 0453-8811
- Журнал прикладной химии ISSN 0044-4618

### **9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации рабочей программы дисциплины подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 80);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число билетов – 40).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2024 составляет 1 559 436 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «*Современные сорбционно-каталитические процессы*» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Лекционная учебная аудитория, оборудованная меловой доской и учебной мебелью, учебная аудитория для проведения практических занятий, оборудованная меловой доской и учебной мебелью, компьютерный зал с 14 рабочими местами и 14 персональными компьютерами.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Презентации лекционного материала.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Для самостоятельной работы каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к нескольким электронно-библиотечным системам (электронным библиотекам), содержащим все издания основной литературы, перечисленные в рабочей программе дисциплины, сформированным на основании прямых договорных отношений с правообладателями.

#### 11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине, методические рекомендации к практическим занятиям; раздаточный материал к лекционным курсам; электронные учебные издания.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционных курсов; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде.

#### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	WINDOWS 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013 от 02.12.2013	14	бессрочно
2	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.	Контракт №72-99ЭА/2022 от 29.08.2022	14	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование модулей	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<p><b>Раздел 1.</b> Введение. Физико-химические основы адсорбционно-каталитических процессов</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химические закономерности современных адсорбционных и каталитических явлений и их природу;</li> <li>- математические модели сорбционных и каталитических процессов;</li> <li>- основные методы исследования современных сорбционных процессов и каталитических систем.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать методы исследования и определения технологических параметров адсорбционно-каталитических процессов;</li> <li>- применять методы математического моделирования для описания и анализа сорбционных и каталитических процессов.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью к постановке и формулированию задач научных исследований на основе результатов анализа научно-технической информации;</li> <li>- методами определения параметров математических моделей технологических аппаратов по экспериментальным данным.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Оценка за контрольную работу № 1</p> <p style="text-align: center;">Оценка за экзамен</p>
<p><b>Раздел 2.</b> Технология и расчет адсорбционно-каталитических процессов</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- характеристики промышленных адсорбентов и катализаторов;</li> <li>- основные методы исследования современных сорбционных процессов и каталитических систем;</li> <li>- примеры применения адсорбционно-каталитических технологий для очистки газов и жидкостей;</li> <li>- основные типы и конструкции аппаратов, технологию и общие</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Оценка за контрольную работу № 2</p> <p style="text-align: center;">Оценка за экзамен</p>

	<p>принципы осуществления адсорбционных и каталитических процессов.</p> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать методы исследования и определения технологических параметров адсорбционно-каталитических процессов;</li> <li>- использовать технические средства управления современными сорбционными процессами и каталитическими системами с использованием различных форм энергии;</li> <li>- применять методы математического моделирования для описания и анализа сорбционных и каталитических процессов.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью к постановке и формулированию задач научных исследований на основе результатов анализа научно-технической информации;</li> <li>- методами организации и расчёта систем оптимального управления высокоэффективными энерго- и ресурсосберегающими современными сорбционными процессами и каталитическими системами;</li> <li>- методами определения параметров математических моделей технологических аппаратов по экспериментальным данным.</li> </ul>	
--	---	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

– Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 06.04.2021 № 245);

– Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

– Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Современные сорбционно-каталитические процессы»**

**основной образовательной программы  
18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии**

**магистерская программа  
«Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии»**

Форма обучения: *очная*

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета  
протокол № 1 от «29» августа 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Инновационные технологии в системах водоочистки и водоподготовки»**

**Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

**Магистерская программа – «Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в  
химической технологии»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2024**

Программа составлена кандидатом технических наук, доцентом кафедры общей химической технологии А.Д. Стояновой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры общей химической технологии «16» мая 2024 г., протокол № 9.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **общей химической технологии** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина **«Инновационные технологии в системах водоочистки и водоподготовки»** относится к части дисциплин по выбору учебного плана, формируемых участниками образовательных отношений дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии.

**Цель дисциплины** – приобретение обучающимися знаний, умений, владений и формирования компетенций в области теоретических и практических основ инновационных технологий в системах водоочистки и водоподготовки, необходимых для осуществления профессиональной деятельности уровня знаний, умений, навыков, опыта деятельности и подготовки к защите выпускной квалификационной работы.

### **Задачи дисциплины:**

- освоение научных основ и методов водоподготовки для различных процессов, очистки обезвреживания сточных вод промышленных предприятий,
- ознакомление с путями совершенствования технологических процессов и составление технологических схем,
- приобретение практических навыков для оценки уровня экологического воздействия технологических производств на окружающую среду.

Дисциплина **«Инновационные технологии в системах водоочистки и водоподготовки»** преподается в 3 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения: ПК-1.1; ПК-1.2; ПК-4.2; ПК-5.3**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции	
<b>Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности</b>					
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации.	Химическое, химико-технологическое производство  Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.1. Знает современные методы, используемые при проведении научных исследований в области реализации принципов энерго- и ресурсосбережения и основные этапы выполнения научно-исследовательской работы	Профессиональный стандарт 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 № 121 н, Обобщенная трудовая функция С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – б).	
		ПК-4. Готов разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку	ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности		ПК-4.2. Умеет решать задачи оптимизации процессов химической технологии
		ПК-5. Способен на основе научных исследований	ПК-5.3. Владеет методологией и методикой анализа, синтеза и оптимизации процессов в области		С /02.6. Управление результатами научно-исследовательских и опытно-

		разрабатывать и внедрять технологические решения в области профессиональной деятельности	профессиональной деятельности	конструкторских работ (уровень квалификации – 6).
--	--	--	-------------------------------	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- состав сточных вод промышленных предприятий,
- методы очистки сточных вод и водоподготовки,
- механизмы реакций и общие кинетические закономерности переработки жидких техногенных отходов;
- методы оптимизации технологических процессов;
- общие принципы осуществления химических процессов переработки жидких техногенных отходов;

*Уметь:*

- применять современные технологии для решения вопросов водоочистки;
- анализировать взаимосвязь технологических параметров с эффективностью процесса и качеством продукции;
- предложить условия проведения процесса водоподготовки и водоочистки.

*Владеть:*

- знаниями и принципами современной технологии обезвреживания и переработки жидких техногенных отходов,
- современными методами оценки качества воды.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>7</b>	<b>252</b>	<b>189</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,89</b>	<b>68</b>	<b>51</b>
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	1,42	51	38,25
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4,11</b>	<b>148</b>	<b>111</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	4,11	148	111
<b>Вид контроля:</b>	<b>Экзамен</b>		
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Экзамен</b>		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лекции	Прак. зан.	Сам. работа
	<b>Введение</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>5</b>
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Нормирование качества воды</b>	<b>32</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
<b>2.</b>	<b>Раздел 2. Механические и физико-химические методы очистки сточных вод и водоподготовки</b>	<b>90</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>62</b>
<b>3</b>	<b>Раздел 3. Химические и биохимические методы очистки сточных вод и водоподготовки</b>	<b>88</b>	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>61</b>
	<b>ИТОГО</b>	<b>216</b>	<b>17</b>	<b>51</b>	<b>148</b>
	<b>Экзамен</b>	<b>36</b>			
	<b>ИТОГО</b>	<b>252</b>	<b>17</b>	<b>51</b>	<b>148</b>

## 4.2 Содержание разделов дисциплины

**Введение.** Экологические проблемы производств. Источники загрязнения окружающей среды. Классификация сточных вод и загрязняющих примесей.

**Раздел 1. Нормирование качества воды.** Показатели качества воды: органолептические, общие и суммарные показатели. Интегральные показатели качества воды (индексы качества). Минеральный состав воды. Методы определения показателей качества воды. Требования к качеству воды: питьевой, для промышленности и энергетики, для гальванических производств, для электронной техники.

Примеси в природной воде. Методы их удаления.

Отбор и консервация проб воды.

Классификация методов обезвреживания сточных вод.

**Раздел 2. Механические и физико-химические методы очистки сточных вод и водоподготовки**

Механические методы очистки сточных вод. Усреднение концентраций загрязняющих веществ в производственных стоках. Предварительное процеживание. Оборудование для выделения нерастворимых примесей под действием гравитационных сил. Оборудование для извлечения взвешенных веществ под действием центробежных сил. Оборудование для удаления всплывающих примесей. Фильтрация взвешенных веществ.

Мембранные методы очистки сточных вод. Классификация мембранных методов. Обратный осмос. Технические характеристики и классификация мембран. Мембранные аппараты для очистки сточных вод.

Физико-химические методы очистки воды. Коагуляция и флокуляция. Флотация. Флотационное оборудование для обработки сточных вод. Адсорбционные методы (статический и динамический режимы). Ионнообменная адсорбция. Установки ионного обмена.

Ректификационные методы (простая, азеотропная ректификация). Эвапорация.

Экстракция. Свойства экстрагентов. Классификация экстракции по природе реагентов. Методы экстрагирования (перекрестноточные и противоточные).

Кристаллизация из растворов. Кристаллизаторы.

**Раздел 3. Химические и биохимические методы очистки сточных вод и водоподготовки**

Химические методы очистки воды. Нейтрализация (взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод; нейтрализация реагентами, дымовыми газами, через нейтрализующие материалы). Окислительные методы (окисление хлором, пероксидом водорода, кислородом, озонирование). Восстановительные методы. Обезвреживание сточных вод от соединений ртути, мышьяка, хрома и др. Восстановление солями сернистой кислоты. Осадительные методы.

Электрохимические методы. Сущность процесса электролиза. Анодные и катодные материалы. Электрохимическое окисление и восстановление. Электрокоагуляционный метод. Электродиализ. Электрофлотация. Конструкции электрофлотатора и электрофлотокорректора рН.

Биохимические методы очистки сточных вод. Сущность процесса биохимической очистки. Активный ил, биопленка. Закономерности распада органических веществ. Нитрификация и денитрификация. Прирост биомассы. Влияние факторов на скорость биохимического окисления.

Окисление серосодержащих веществ, соединений железа и марганца.

Биологические пруды. Поля орошения, фильтрации. Искусственные очистные сооружения. Очистка сточных вод в биофильтрах. Аэротенки. Септитенки и метантенки.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	<b>Знать:</b>				
1	- состав сточных вод промышленных предприятий,		+	+	+
2	- методы очистки сточных вод и водоподготовки,			+	+
3	- механизмы реакций и общие кинетические закономерности переработки жидких техногенных отходов;			+	+
4	- методы оптимизации технологических процессов;			+	+
5	- общие принципы осуществления химических процессов переработки жидких техногенных отходов;			+	+
	<b>Уметь:</b>				
6	- применять современные технологии для решения вопросов водоочистки;			+	+
7	- анализировать взаимосвязь технологических параметров с эффективностью процесса и качеством продукции;		+	+	+
8	- предложить условия проведения процесса водоподготовки и водоочистки.			+	+
	<b>Владеть:</b>				
9	- знаниями и принципами современной технологии обезвреживания и переработки техногенных отходов,			+	+
10	- современными методами оценки качества воды.		+		
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <i>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</i>					
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>			
11	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.1. Знает современные методы, используемые при проведении научных исследований в области реализации принципов энерго- и ресурсосбережения и основные этапы выполнения научно-исследовательской работы	+	+	+
12		ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности	+	+	+

13	ПК-4. Готов разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку	ПК-4.2. Умеет решать задачи оптимизации процессов химической технологии		+	+
14	ПК-5. Способен на основе научных исследований разрабатывать и внедрять технологические решения в области профессиональной деятельности	ПК-5.3. Владеет методологией и методикой анализа, синтеза и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности	+	+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ разд. дисц.	Темы практических занятий	Часы
1	1	<b>Практическое занятие 1.</b> Нормирование качества воды. Показатели качества воды. Требования к качеству воды: питьевой, для промышленности и энергетики, для гальванических производств, для электронной техники.	8
2	2	<b>Практическое занятие 2.</b> Механические методы очистки: отстаивание, фильтрование через зернистые загрузки (насыпные фильтры периодического действия, фильтры с плавающей загрузкой, фильтры непрерывного действия).	4
3	2	<b>Практическое занятие 3.</b> Мембранные методы. Виды баромембранных процессов водоочистки (микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос).	5
4	2	<b>Практическое занятие 4.</b> Физико-химические методы очистки воды. Сорбционные процессы; используемые сорбенты.	5
5	2	<b>Практическое занятие 5.</b> Коагуляция. Флокуляция. Ректификация.	4
6	2	<b>Практическое занятие 6.</b> Экстракция (перекрестоточная и противоточная).	4
7	3	<b>Практическое занятие 7.</b> Химические методы очистки воды. Процессы окисления. Осадительные методы.	7
8	3	<b>Практическое занятие 8.</b> Электролиз. Электрофлотация. Электрокоагуляция.	7
9	3	<b>Практическое занятие 9.</b> Аэробные и анаэробные биохимические методы очистки.	7

### 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторный практикум по дисциплине *«Инновационные технологии в системах водоочистки и водоподготовки»* не предусмотрен.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче *экзамена* (3 семестр) по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с

указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов), и итогового контроля в форме *Экзамена* (максимальная оценка 40 баллов).

### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 3 контрольные работы (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы составляет 60 баллов, по 20 баллов за каждую работу:

#### Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1. Контрольная работа содержит 4 вопроса, по 5 баллов за вопрос.

##### Вопрос 1.1. Тесты

1. Большая часть отходов на производстве приходится на \_\_\_\_\_ отходы (по агрегатному состоянию).

Жидкие

Твердые

Газообразные

2. Вода, бывшая в употреблении, а также вода, прошедшая какую-либо загрязненную территорию называется \_\_\_\_\_

Сточная вода

Отстаиваемая вода

Талая вода

Водопроводная вода

3. Загрязняющие воду вещества по физическому состоянию бывают:

Нерастворимые

Бактериальные

Растворимые

Промышленные

##### Вопрос 1.2.

1. Рассчитать индекс загрязненности воды по данным, приведенным в табл. 1 и оценить класс качества воды на основании табл. 2.

2. Рассчитать суммарный показатель химического загрязнения водоема и оценить экологическое состояние воды (табл. 2) по данным, приведенным в табл. 1.

**Вопрос 1.3.** Определите основные элементы конструкции аппарата, приведенного на рисунке.

##### Вопрос 1.4. Задача

1. Вода обладает некарбонатной жесткостью: содержит сульфат кальция (массовая доля 0,02 %) и хлорид магния (массовая доля 0,01%). Какой объем раствора карбоната натрия с массовой долей 15 % ( $\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$ ) надо добавить к 100 л воды для устранения постоянной жесткости?

2. Для устранения общей жесткости воды по известково-содовому методу к 100 л воды было прибавлено 16,65 г гидроксида кальция и 15,9 г соды (карбоната натрия). Рассчитайте общую, временную и постоянную жесткость данной воды.

3. При определении содержания кислорода в исследуемой воде, объемом 100 мл, был добавлен хлорид марганца и иодид калия. На титрование избытка иодида калия было израсходовано 15,9 мл раствора тиосульфата натрия  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  с молярной концентрацией 0,01 моль/л. Определите содержание кислорода в исследуемой воде в моль/л и мг/л.

## **Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2. Контрольная работа содержит 4 вопроса, по 5 баллов за вопрос.**

### **Вопрос 2.1. Тесты**

1. Разделение в процессе нанофильтрации происходит за счет:  
Ситового механизма и диффузии  
Ситового механизма  
Диффузии  
Адсорбции
2. Фильтрацию можно интенсифицировать  
понижением температуры суспензии  
увеличением толщины слоя осадка  
рациональным подбором способа регенерации фильтровальной перегородки  
повышением удельного сопротивления осадка
3. Одно из преимуществ фильтра непрерывного действия.  
высокая производительность  
низкая стоимость  
простота конструкции  
компактность оборудования

### **Вопрос 2.2. Приведите в соответствие тип, схему и принцип действия аппаратов, предназначенных для механической очистки сточных вод.**

### **Вопрос 2.3. Приведите в соответствие тип, схему и принцип действия аппаратов, предназначенных для физико-химической очистки сточных вод.**

### **Вопрос 2.4. Задача**

1. Натрий-катионитный фильтр диаметром 2,3 м и высотой слоя сульфоугля 2,9 м умягчил за межрегенерационный период воду объемом  $600 \text{ м}^3$  с общей жесткостью  $3,5^\circ\text{Ж}$ . Определить:

- а) удельную обменную емкость катионита в моль/дм<sup>3</sup>;  
б) количество поглощенных катионов в килограммах и в процентах от массы загруженного в фильтр сульфоугля, если молярное отношение  $[\text{Ca}^{2+}]:[\text{Mg}^{2+}]$  в исходной воде равно 1,6, а насыпная плотность влажного катионита ( $\rho$ )  $0,42 \text{ т/м}^3$ .

2. Определить степень извлечения и понижение концентрации в водной фазе за одну экстракцию при встряхивании 50,0 мл раствора 0,5 М по  $\text{FeCl}_3$  и 5 М по  $\text{HCl}$  с 5,0 мл диэтилового эфира, если коэффициент распределения  $\text{FeCl}_3$  в системе эфир-вода в этих условиях составляет 17,6. Рассчитать число последовательных экстракций, необходимых для доведения концентрации  $\text{Fe}^{3+}$  в водной фазе до  $5 \cdot 10^{-3}$  моль/л. (перечень вопросов)

3. Сточную воду производства по добыче серы с расходом сточных вод  $q = 6,2 \text{ м}^3/\text{ч}$  необходимо очистить от  $\text{S}^{2-}$  с концентрацией  $C_n = 83 \text{ мг/л}$  с использованием следующих окислителей:

- 1)  $\text{O}_2$  ( $C_k(\text{S}^{2-}) = 5,4 \text{ мг/л}$ );

2)  $O_3$  ( $C_k(S^{2-}) = 0,7$  мг/л);

Оцените эффективность окислителей по степени очистки  $\eta$ . Оцените эффективность реагентов по достижению норматива допустимого сброса сероуглерода в канализацию при  $C_{ндс} = 4,8$  ПДК<sub>вр</sub>, если ПДК<sub>вр</sub> ( $S^{2-}$ ) = 0,005 мг/л.

### **Раздел 3. Примеры вопросов к контрольной работе № 3. Контрольная работа содержит 4 вопроса, по 5 баллов за вопрос.**

#### **Вопрос 3.1. Тесты**

1. В процессе электролиза под действием электрического тока анионы движутся  
По направлению к катоду и проходят через катионообменные мембраны  
По направлению к аноду и проходят через катионообменные мембраны  
По направлению к катоду и проходят через анионообменные мембраны  
По направлению к аноду и проходят через анионообменные мембраны

2. В кислой среде на аноде происходит разряд молекул воды с образованием  
Пузырьков кислорода  
Ионов гидроксония  
Пузырьков водорода  
Гидроксид-ионов

3. В процессе электрофлотации нагревание раствора до 50°C приводит к  
Уменьшению вязкости жидкости  
Увеличению поверхностного натяжения  
Повышается эффективность процесса  
Увеличению вязкости жидкости

#### **Вопрос 3.2. Задача**

Сточные воды в количестве 1200 м<sup>3</sup>/сут, содержащие:

- фенол (БПК 59 г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>),
- нефтепродукты (БПК 120 г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>),
- ацетон (БПК 163 г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>),
- метанол (БПК 62 г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>);

должны быть подвергнуты полной биологической очистке на биофильтре. Вода имеет температуру 18°C.

Выбрать тип биофильтра, определить его площадь и диаметр, рассчитать эффективность работы биофильтра.

#### **Вопрос 3.3. Задача**

Сточные воды химического производства в количестве 500 м<sup>3</sup>/сутки, содержащие взвешенные вещества в количестве 100 мг/л и имеющие БПК<sub>полн</sub> 450 мг O<sub>2</sub>/л, направляются на биологические очистные сооружения для полной очистки. Среднемесячная температура воды в летнее время 24°C. Иловый индекс городских сточных вод составляет 120 см<sup>3</sup>/г.

Определить время аэрации, размеры аэротенка-смесителя и регенератора ила.

#### **Вопрос 3.4. Задача**

Рассчитайте объем электрокоагулятора и количество пластин электродов толщиной 6 мм, которые могут в него поместиться (расстояние между крайними пластинами и

стенками установки 65 мм, расстояние между электродами 10 мм), если длина и ширина установки равны 2 и 2,5 м соответственно, высота электродов - 1 м, высота раствора и шлама над электродами – 0,8 м.

Рассчитайте какой активной поверхностью электроды будут обладать? Какую силу тока необходимо установить, чтобы плотность тока была равна 20 А/м<sup>2</sup>?

### 8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – экзамен).

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по разделам 1-3 рабочей программы дисциплины и содержит 2 вопроса. 1 вопрос – 20 баллов, вопрос 2 – 20 баллов.

1. Экологические проблемы производства. Классификация источников образования сточных вод.
2. Характеристика атмосферных, хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Типы загрязняющих веществ.
3. Основные неорганические загрязнения: ионы металлов, соли.
4. Основные органические загрязнения.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих компонентов, рыбохозяйственного и культурно-бытового назначения.
6. Показатели качества воды (минерализация, электропроводность, температура).
7. Показатели качества воды (взвешенные вещества, водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал).
8. Органолептические показатели качества воды (запах, мутность, цветность).
9. Показатели качества воды (кислотность, щелочность, растворенный кислород, жесткость).
10. Показатели качества воды (перманганатная и бихроматная окисляемость, биохимическое потребление кислорода).
11. Классификация (обзор) методов очистки сточных вод.
12. Механическая очистка сточных вод. Песколовки. Усреднение сточных вод.
13. Механическая очистка сточных вод (отстаивание). Принцип действия. Типы отстойников.
14. Механическая очистка сточных вод (фильтрация). Принцип фильтрования и методы интенсификации процесса. Типы фильтровальных перегородок.
15. Механическая очистка сточных вод (фильтрация). Принцип фильтрования. Фильтры периодического действия.
16. Механическая очистка сточных вод (фильтрация). Принцип фильтрования. Фильтры непрерывного действия.
17. Мембранные методы (микрофильтрация, ультрафильтрация). Требования к мембранам. Основные показатели мембранных процессов.
18. Мембранные методы (нанофильтрация). Требования к мембранам. Основные показатели мембранных процессов.
19. Мембранные аппараты по способу подачи очищаемого раствора. Конструкции мембранных аппаратов.
20. Мембранные методы (обратный осмос). Стандартные режимы работы мембран.
21. Физико-химические методы очистки воды (преимущества и недостатки). Коагуляция, флокуляция.
22. Классификация флотационных методов очистки сточных вод. Флотация с выделением воздуха из воды.
23. Флотация с механическим диспергированием воздуха. Флотация с подачей воздуха через пористые материалы.
24. Пенная сепарация. Ионная флотация.

25. Ректификация.
26. Сорбционные методы очистки сточных вод. Сорбенты и их очистка.
27. Установки сорбционных методов очистки сточных вод.
28. Ионный обмен. Основные требования к ионитам. Обменная емкость ионитов.
29. Экстракция. Схемы экстракционных установок.
30. Химические методы очистки воды. Способы нейтрализации кислых и щелочных сточных вод.
31. Химические методы очистки воды. Окисление хлорсодержащими реагентами. Окисление пиролюзитом.
32. Химические методы очистки воды. Окисление пероксидом водорода, кислородом воздуха.
33. Озонирование. Аппараты для озонирования.
34. Химические методы очистки воды (восстановление соединений ртути, хрома, мышьяка).
35. Химические методы очистки воды (осаждение труднорастворимых соединений).
36. Электрохимические методы очистки сточных вод. Классификация. Анодные и катодные материалы.
37. Электрохимическое окисление. Очистка цианосодержащих сточных вод.
38. Электрохимическое восстановление. Схема очистки промывной воды, содержащей ионы металлов.
39. Электрокоагуляционная очистка сточных вод.
40. Электрохимический метод обессоливания (электродиализ).
41. Основные принципы электрофлотационного метода.
42. Классификация биологических методов очистки сточных вод. Характеристика активного ила и биопленки.
43. Закономерности распада органических веществ. Нитрификация и денитрификация.
44. Аэробные методы очистки сточных вод в естественных условиях. Поля орошения. Биологические пруды.
45. Аэробные методы очистки сточных вод в искусственных условиях. Классификация аэротенков.
46. Аэробные методы очистки сточных вод в искусственных условиях. Классификация биофильтров.
47. Анаэробные методы очистки сточных вод. Метатенки.
48. Методы подготовки осадков сточных вод к обезвоживанию, утилизации и захоронению.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

#### 8.4. Структура и примеры билетов для экзамена (3 семестр).

*Экзамен* по дисциплине «*Инновационные технологии в системах водоочистки и водоподготовки*» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по разделам 1-3 рабочей программы дисциплины. Билет для *экзамена* состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для *экзамена*:

«Утверждаю» Зав. кафедрой ОХТ _____ В.Н.Грунский «__» _____ 20__ г.	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра общей химической технологии</b>
	<b>18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии</b> <b>Магистерская программа</b> <b>«Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии»</b>
	<b>Инновационные технологии в системах водоочистки и водоподготовки</b>
<b>Билет № 1</b>	
1. Показатели качества воды (кислотность, щелочность, растворенный кислород, жесткость).	
2. Мембранные методы (обратный осмос). Стандартные режимы работы мембран.	

### 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 9.1. Рекомендуемая литература

##### А. Основная литература

1. Стоянова А.Д. Физико-химические основы технологии обезвреживания жидких техногенных отходов: учеб.пособие /А.Д. Стоянова, Т.В. Конькова. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. – 296 с.
2. Конькова, Т. В. Основы технологии катализаторов гетерогенных процессов: учебное пособие / Т. В. Конькова. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. - 120 с.
3. Федоров, С. В. Методы прогнозирования качества воды: учебное пособие / С. В. Федоров, А. В. Кудрявцев. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 96 с.
4. Ветошкин, А. Г. Инженерная защита водной среды: учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 416 с.
5. Ветошкин, А. Г. Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи : учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 512 с.
6. Широков, Ю. А. Экологическая безопасность на предприятии : учебное пособие для вузов / Ю. А. Широков. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 360 с.
7. Основы природопользования и энергоресурсосбережения : учебное пособие / В. В. Денисов, И. А. Денисова, Т. И. Дровозова, А. П. Москаленко ; под редакцией В. В. Денисова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 408 с.

## Б. Дополнительная литература

1. Гвоздев, В. Д. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков [Текст] / В. Д. Гвоздев, Б. С. Ксенофонов. - М.: Химия, 1988. - 112 с.
2. Адсорбция органических веществ из воды [Текст] / А. М. Когановский [и др.]. - Л. : Химия, 1990. - 256 с.
3. Оценка воздействия промышленных предприятий на окружающую среду [Текст] : учебное пособие / Н. П. Тарасова [и др.]. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 230 с.
4. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В. А. Колесников [и др.] ; ред. В. А. Колесников. - М. : Химия, 2007.
5. Родионов А. И. Технологические процессы экологической безопасности (основы энвайронменталистики): учебник для вузов / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер. - 4-е изд., перераб. и доп. - Калуга : Изд-во Н.Бочкаревой, 2007. - 799 с.
6. Милютин, В. В. Современные методы очистки техногенных сточных вод от токсичных примесей : учебное пособие / В. В. Милютин, М. Б. Алехина, Б. Е. Рябчиков. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2016. - 131 с.
7. Зайцев, В. А. Промышленная экология. Экологические проблемы основных производств: учебное пособие / В. А. Зайцев, Н. А. Крылова. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2002. - 175 с
8. Сотникова, Е. В. Теоретические основы процессов защиты среды обитания : учебное пособие / Е. В. Сотникова, В. П. Дмитренко, В. С. Сотников. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 576 с.
9. Кривошеин, Д. А. Основы экологической безопасности производств : учебное пособие / Д. А. Кривошеин, В. П. Дмитренко, Н. В. Федотова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 336 с.

### 9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.

Научно-технические журналы:

1. Катализ в промышленности ISSN: 1816-0387
2. Кинетика и катализ ISSN: 0453-8811.
3. Журнал физической химии.
4. Журнал прикладной химии.
5. Журнал неорганической химии.
6. Неорганические материалы.
7. Химическая промышленность сегодня.
8. Водоочистка.
9. Теоретические основы химической технологии

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <http://nano-portal.ru/> - Нано Портал - Нанотехнологии России
- <http://www.scirp.org/journal/Index.aspx> - Scientific research. Open Access
- <http://www.superhimik.com/forum.htm> - Золотые купола химии
- <http://www.intechopen.com/> - In Tech. Open Science
- <http://bookfi.org/g/> - BookFinder. Самая большая электронная библиотека рунета.

Поиск книг и журналов

- [www.sciyo.com](http://www.sciyo.com) - Welcome to Sciyo! Read, download & share more than 273 FREE SCIENTIFIC BOOKS
- <http://www.rsl.ru> - Российская Государственная Библиотека
- <http://www.gpntb.ru> - Государственная публичная научно-техническая библиотека России
- <http://lib.msu.su> - Научная библиотека Московского государственного университета
- <http://window.edu.ru> - Полнотекстовая библиотека учебных и учебно-методических материалов
- <http://abc-chemistry.org/ru/> - ABC-Chemistry : Бесплатная научная химическая информация
- <http://www.fips.ru/cdfi/fips2009.dll> - Сайт ФИПС. Информация о патентах
- <http://findebookee.com/> - поисковая система по книгам
- <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека

### 9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины (При необходимости)

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины: **(ПРИМЕР)**

- компьютерные презентации интерактивных лекций – 8, (общее число слайдов – 540);
- банк тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 180);
- банк тестовых заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 48).

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01. 2024 составляет 1 559 436 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «*Инновационные технологии в системах водоочистки и водоподготовки*» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### 11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Библиотека, имеющая рабочие компьютерные места для студентов, оснащенные компьютерами с выходом в Интернет и доступом к базам данных.

### 11.2. Учебно-наглядные пособия:

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса.

### 11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:

Персональные компьютеры, укомплектованные принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### 11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде.

### 11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Срок окончания действия лицензии	Примечание
1.	WINDOWS 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013 от 02.12.2013	бессрочно	Лицензия на операционную систему Microsoft Windows 8.1. ПО, не принимающее прямого участия в образовательных процессах.
2.	Microsoft Office Standard 2013	Контракт № 62-64ЭА/2013 от 02.12.2013	бессрочная	Лицензия на ПО, принимающее участие в образовательных процессах.
3.	Microsoft Office Professional Plus 2019 В составе: <ul style="list-style-type: none"><li>• Word</li><li>• Excel</li></ul>	Контракт № 28-35ЭА/2020 от 26.05.2020	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую	Лицензия на ПО, принимающее участие в образовательных процессах.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power Point</li> </ul>		ю версию продукта)	
4.	<p>O365ProPlusOpenFclty ShrdSvr ALNG SubsVL OLV E 1Mth Acdmc AP AddOn toOPP</p> <p>Приложения в составе подписки: Outlook OneDrive Word 365 Excel 365 PowerPoint 365 Microsoft Teams</p>	<p>Контракт № 28-35ЭА/2020 от 26.05.2020</p>	<p>12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)</p>	<p>Лицензия на ПО, не принимающее прямого участия в образовательных процессах (инфраструктурное/вспомогательное ПО)</p>
5.	<p>ABBYY FineReader 10 Professional Edition</p>	<p>Контракт № 143-164ЭА/2010 от 14.12.10</p>	<p>бессрочная</p>	<p>Лицензия на ПО, не принимающее прямого участия в образовательных процессах (инфраструктурное/вспомогательное ПО)</p>

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1. Нормирование качества воды</b>	<p><i>Знает:</i> – состав сточных вод промышленных предприятий,</p> <p><i>Умеет:</i> – анализировать взаимосвязь технологических параметров с эффективностью процесса и качеством продукции;</p> <p><i>Владеет:</i> – современными методами оценки качества воды.</p>	<p>Оценка за контрольную работу №1 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>экзамен</i> (3 семестр)</p>
<b>Раздел 2. Механические и физико-химические методы очистки сточных вод и водоподготовки</b>	<p><i>Знает:</i> – состав сточных вод промышленных предприятий, – методы очистки сточных вод и водоподготовки, – механизмы реакций и общие кинетические закономерности переработки жидких техногенных отходов; – методы оптимизации технологических процессов; – общие принципы осуществления химических процессов переработки жидких техногенных отходов.</p> <p><i>Умеет:</i> – применять современные технологии для решения вопросов водоочистки; – анализировать взаимосвязь технологических параметров с эффективностью процесса и качеством продукции; – предложить условия проведения процесса водоподготовки и водоочистки.</p> <p><i>Владеет:</i> – знаниями и принципами современной технологии обезвреживания и переработки техногенных отходов.</p>	<p>Оценка за контрольную работу №2 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>экзамен</i> (3 семестр)</p>

<p><b>Раздел 3. Химические и биохимические методы очистки сточных вод и водоподготовки</b></p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– состав сточных вод промышленных предприятий,</li> <li>– методы очистки сточных вод и водоподготовки,</li> <li>– механизмы реакций и общие кинетические закономерности переработки жидких техногенных отходов;</li> <li>– методы оптимизации технологических процессов;</li> <li>– общие принципы осуществления химических процессов переработки жидких техногенных отходов.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять современные технологии для решения вопросов водоочистки;</li> <li>– анализировать взаимосвязь технологических параметров с эффективностью процесса и качеством продукции;</li> <li>– предложить условия проведения процесса водоподготовки и водоочистки.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– знаниями и принципами современной технологии обезвреживания и переработки техногенных отходов.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу №3 (3 семестр)</p> <p>Оценка за <i>экзамен</i> (3 семестр)</p>
--	---	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

– Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);

– Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

– Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Инновационные технологии в системах  
водоочистки и водоподготовки»**

**основной образовательной программы**

18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии  
и биотехнологии

«Основная образовательная программа высшего образования – программа магистратуры  
«Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.



РХТУ им. Д.И. Менделеева  
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Владелец: *Комарницкая Елена Анатольевна* 25  
*Проректор по образованию,*  
*Ректорат*

Подписан: 01:09:2025 14:11:54