

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Нижегородский государственный технический университет**  
**им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)**

---

---

Образовательно-научный институт физико-химических технологий и мате-  
риаловедения (ИФХТиМ)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

\_\_\_\_\_ Мацулович Ж.В.

«20» марта 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ОД.8 «Моделирование химико-технологических процессов»**  
для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность: "Технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники"

Форма обучения: Очная

Год начала подготовки: 2025

Выпускающая кафедра: НБ

Кафедра-разработчик: ТЭП и ХОВ

Объем дисциплины: 180/5  
часов/з.е

Промежуточная аттестация: зачет с оценкой (6 семестр)

Разработчик: Козина О.Л., к.т.н.

**Нижний Новгород**  
**2025**

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 19.09.2017 г. № 927 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ, протокол от 28.01.2025 №10

Рабочая программа принята на заседании кафедры

«Технология электрохимических производств и химии органических веществ» (ТЭПиХОВ)

*Протокол заседания от «03» марта 2025 г. №6*

Зав. кафедрой к.т.н., доцент Ивашкин Е.Г. \_\_\_\_\_

Рабочая программа утверждена на заседании Учебно-методического совета института физико-химических технологий и материаловедения

*Протокол заседания от «20» марта 2025 г. №6*

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № \_\_\_\_\_

Начальник МО \_\_\_\_\_ Е.Г. Севрюкова

Заведующая отделом комплектования НТБ

\_\_\_\_\_

Н.И. Кабанина

*(подпись)*

## Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	3
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	4
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>8</b>
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ .....	8
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ .....	9
<b>5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>14</b>
<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>17</b>
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА .....	17
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	17
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ .....	18.
<b>7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>19</b>
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....	20
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ .....	20
<b>8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ .....</b>	<b>20</b>
<b>9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>20</b>
<b>10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ..</b>	<b>21</b>
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....	21
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА .....	22
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ .....	22
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ.....	22
10.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	22
<b>11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>22</b>
11.1. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	22
11.2. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ В ФОРМЕ ЗАЧЕТА .....	22
11.3. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ .....	22

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**1.1. Целью освоения дисциплины являются:** обучение студентов применять вычислительную технику при разработке химико-технологических процессов и обработка экспериментальных данных, освоение вопросов моделирования и оптимизации сложных химико-технологических процессов.

**1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):**

- овладение знаниями в области моделирования процессов и аппаратов химической технологии, составления и оптимизации математических моделей;
- математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов прикладных программ для научных исследований;
- правильная организация эксперимента, проведение экспериментов по заданной методике, изучение методологии планирования эксперимента.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Моделирование химико-технологических процессов» (Б1.В.ОД.8), относится к дисциплинам базовой части обязательной вариативной части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» рабочего учебного плана ОП по направлению 1811.03.04 Электроника и наноэлектроника. Направленность: «Технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники» и осваивается в 6 семестре.

Для успешного освоения дисциплины студенту необходимы знания курсов «Информационные технологии», «Химия», «Физическая химия», «Общая химическая технология», «Математика».

Дисциплина «Моделирование химико-технологических процессов» является основой для последующего изучения дисциплин «Технология тонких пленок и покрытий», «Физико-химические основы технологии материалов и изделий электроники и наноэлектроники», «Процессы и аппараты производства изделий электронной техники».

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование элементов следующих профессиональных компетенций в соответствии с ОП ВО 11.03.04 Электроника и наноэлектроника.

Направленность: «Технология материалов и изделий электроники и наноэлектроники».

ПК-4. Способен выбирать оборудование и технологические параметры процесса для производства материалов и компонентов электронной техники

ПК-6. Способен осваивать и применять цифровые технологии для объектов профессиональной деятельности

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Дисциплины, участвующие в формировании компетенций ПК

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>ПК-4</b>								
Моделирование химико-технологических процессов								
Оборудование и производство электронной техники								
Общая химическая технология								
Процессы и аппараты производства изделий электронной техники								
Технология летучих высокочистых веществ для производства изделий электронной техники								
Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности								
Преддипломная практика								
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								
<b>ПК-6</b>								
Моделирование химико-технологических процессов								
Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности								
Преддипломная практика								
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								

Таблица 3.2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		Планируемые результаты обучения по дисциплине	Текущего контроля	Промежуточной аттестации	Оценочные средства	Текущего контроля
ПК-4. Способен выбирать оборудование и технологические параметры процесса для производства материалов и компонентов электронной техники	ИПК-4.3. Владеет основами проектирования технологической линии производства материалов и изделий электронной техники и наноэлектроники.	Знать: методы построения эмпирических (статистических) и физико-химических (теоретических) моделей химико-технологических процессов; методы идентификации математических описаний технологических процессов на основе экспериментальных данных; методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и/или физико-химических моделей;	Уметь: применять известные методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, моделирования, идентификации и оптимизации при исследовании, проектировании и управлении процессами химической технологии; использовать в своей практической деятельности для достижения этих целей известные пакеты прикладных программ;	Владеть: методами математической статистики для обработки результатов активных и пассивных экспериментов; методами вычислительной математики для разработки и реализации на компьютерах алгоритмов моделирования, идентификации и оптимизации химико-технологических процессов.	Отчеты по лабораторным работам	Вопросы для устного собеседования
ПК-6. Способен осваивать и применять цифровые технологии для объектов профессиональной деятельности	ИПК-6.1. Осваивает цифровые технологии математического и информационного моделирования используемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной деятельности	Знать: пакеты прикладных программ для расчетов и обработки данных;	Уметь: использовать пакеты прикладных программ для расчетов и обработки данных;	Владеть: навыками расчетов, обработки и анализа кинетических данных и представления их в табличном и графическом виде с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.	Отчеты по лабораторным работам	Вопросы для устного собеседования.
	ИПК-6.2. Применяет цифровые технологии в профессиональной деятельности	Знать: постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области.	Уметь: планировать процесс моделирования и вычислительного эксперимента в профессиональной деятельности; работать на современной электронно-вычислительной технике с объектами профессиональной деятельности;	Владеть: методами постановки задач и обработки результатов компьютерного моделирования в профессиональной деятельности; навыками самостоятельной работы в лаборатории на современной вычислительной технике	Отчеты по лабораторным работам	Вопросы для устного собеседования.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зач. ед. 180 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час	
	Всего час.	В т.ч. по семестрам
		6 сем
<b>Формат изучения дисциплины</b>		
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>180</b>	<b>180</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>89</b>	<b>89</b>
<b>1.1. Аудиторная работа, в том числе:</b>	<b>85</b>	<b>85</b>
занятия лекционного типа (Л)	17	17
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др.)	-	-
лабораторные работы (ЛР)	68	68
<b>1.2. Внеаудиторная, в том числе</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)		
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	4
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)		
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>91</b>	<b>91</b>
реферат/эссе (подготовка)		
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)		
контрольная работа		
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)		
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	91	91
Подготовка к зачету с оценкой (контроль)	-	-

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4.2 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)				
		Контактная работа										
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)							
<b>6 семестр</b>												
ПК-4 ИПК - 4.3 ПК- 6 ИПК-6.1 ИПК-6.2	<b>Раздел 1. Введение в математическое моделирование.</b>						Презентация	Конспект лекций				
	<b>Тема 1.1.</b> Введение в компьютерное моделирование химико-технологических процессов. Основные понятия и определения. Методы составления математических моделей. Способы моделирования.				1,0							
						2,0						
						Подготовка к лекциям						
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 1.1				3,0							
						3,0						
	<b>Тема 1.2.</b> Анализ химико-технологического процесса как системы. Эмпирический и структурный подходы к описанию системы.				1,0							
						2,0						
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 1.2				3,0							
						3,0						
	<b>Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:</b>					10,0						
ПК-4 ИПК - 4.3 ПК- 6 ИПК-6.1	<b>реферат, эссе (тема)</b>						Презентация	Конспект лекций				
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>											
	<b>Итого по 1 разделу</b>				<b>2,0</b>	<b>6,0</b>						
	<b>10,0</b>											
<b>Раздел 2. Микрокинетика гомогенных химических реакций</b>							Презентация	Конспект лекций				
<b>Тема 2.1.</b> Моделирование простейших изотермических реак-						2,0						

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
ИПК-6.2	ций первого порядка.							
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 2.1		3,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [6.1.3], [6.1.5]		
	<b>Тема 2.2.</b> Моделирование сложных изотермических и неизотермических реакций. Микрокинетика сложной химической реакции. Выбор ключевых компонентов химической реакции.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 2.2		3,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.3], [.6.1.6], [6.1.7]		
	<b>Тема 2.3.</b> Применение метода Рунге-Кутта для численного решения системы дифференциальных уравнений.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 2.3		6,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [.6.1.6], [6.1.7]		
	<b>Тема 2.4.</b> Особенности математического описания кинетики электрохимических процессов.	1,0	3,0		2,0	Подготовка к лекциям		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 2.4				4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [.6.1.2], [6.1.6]		
	<b>Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:</b> реферат, эссе (тема) расчёто-графическая работа (РГР)				26,0			
ПК-4 ИПК - 4.3	<b>Итого по 2 разделу</b>	<b>4,0</b>	<b>15,0</b>	<b>-</b>	<b>24,0</b>			
	<b>Раздел 3. Математическое описание процессов в химических реагентах различных типов</b>					Презентация	Конспект лекций	

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
ПК- 6 ИПК-6.1 ИПК-6.2	<b>Тема 3.1</b> Система уравнений реактора в общем виде. Модели реакторов с идеальной структурой потока при постоянной температуре процесса.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.2.4], [6.1.6]		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 3.1		3,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [6.2.4], [6.1.6]		
	<b>Тема 3.2</b> Математические модели неизотермических процессов в аппаратах с различными гидродинамическими режимами.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.3], [6.2.4], [6.1.6]		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 3.2		6,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.2.4], [6.1.6], [6.1.7]		
	<b>Тема 3.3.</b> Моделирование реакторов с неидеальной структурой потоков.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.2.4], [6.1.6], [6.1.7]		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 3.3		3,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [6.1.2], [6.1.5]		
	<b>Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:</b> <b>реферат, эссе (тема)</b>				16,0			
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>							
	<b>Итого по 3 разделу</b>	<b>3,0</b>	<b>12,0</b>	<b>-</b>	<b>16,0</b>			
ПК-4 ИПК - 4.3 ПК- 6 ИПК-6.1 ИПК-6.2	<b>Раздел 4. Математическое описание гетерогенных процессов</b>						Презентация	Конспект лекций
	<b>Тема 4.1.</b> Стадийность гетерогенных процессов. Кинетические модели гетерогенных реакций: “газ – твердое тело” и “газ - жидкость”.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.6]		
	<b>Тема 4.2.</b> Моделирование процессов с диффузионными за-	1,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.6]		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
	труднениями. Метод сеток при решении дифференциальных уравнений второго порядка.							
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 4.2.		6,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [6.1.2], [6.1.7]		
	<b>Тема 4.3.</b> Моделирование сложных систем. Декомпозиция сложной системы на подсистемы.	2,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3]		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 4.3.		9,0		5,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [6.1.6], [6.1.7]		
	<b>Тема 4.4.</b> Моделирование электро-химических процессов в пористых средах. Особенности и характеристики пористых тел.	1,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.3]		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 4.4.		8,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.2], [6.1.6], [6.1.7]		
	<b>Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:</b> реферат, эссе (тема)				25,0			
	<b>расчёто-графическая работа (РГР)</b>							
	<b>Итого по 4 разделу</b>	<b>5,0</b>	<b>26,0</b>	-	<b>25,0</b>			
ПК-4 ИПК - 4.3 ПК- 6 ИПК-6.1 ИПК-6.2	<b>Раздел 5. Математическое планирование эксперимента</b>						Презентация	Конспект лекций
	<b>Тема 5.1.</b> Понятие о планировании эксперимента. Планы первого и второго порядка.	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.3], [6.1.5]		
	<b>Лабораторная работа</b> по теме 5.1.		6,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [6.1.2], [6.1.5]		
	<b>Тема 5.2.</b> Методы оптимизации химико- технологических процессов.	1,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.3], [6.1.5]		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа студентов (час)			
	<b>Лабораторная работа по теме 5.2.</b>		3,0		4,0	Подготовка к лабораторной работе [6.1.1], [6.1.5], [6.1.7]		
	<b>Самостоятельная работа по освоению 5 раздела:</b>				16,0			
	<b>реферат, эссе (тема)</b>							
	<b>расчётно-графическая работа (РГР)</b>							
	<b>Итого по 5 разделу</b>	<b>3,0</b>	<b>9,0</b>	<b>-</b>	<b>16,0</b>			
	<b>Итого по 6 семестру</b>	<b>17,0</b>	<b>68,0</b>	<b>-</b>	<b>95,0</b>			
	<b>ИТОГО по дисциплине</b>	<b>17,0</b>	<b>68,0</b>	<b>-</b>	<b>95,0</b>			

## **5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.**

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лабораторных работ.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме зачета с оценкой в 6 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Технология электрохимических производств и химии органических веществ».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле, оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле оценка выполнения лабораторных работ

<b>Шкала оценивания</b>	<b>Лабораторная работа</b>	<b>Зачет с оценкой</b>
$40 < R \leq 50$	Отлично	Отлично
$30 < R \leq 40$	Хорошо	Хорошо
$20 < R \leq 30$	Удовлетворительно	Удовлетворительно
$0 < R \leq 20$	Неудовлетворительно	незачет

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по четырехбалльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не засчитано» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «засчитано» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «засчитано» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «засчитано» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПК-4. Способен выбирать оборудование и технологические параметры процесса для производства материалов и компонентов электронной техники	ИПК-4.3. Владеет основами проектирования технологической линии производства материалов и изделий электронной техники и наноэлектроники.	Не знает методы построения эмпирических (статистических) и физико-химических (теоретических) моделей химико-технологических процессов; методы идентификации математических описаний технологических процессов на основе экспериментальных данных; методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и/или физико-химических моделей; Не умеет применять известные методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, моделирования, идентификации и оптимизации при исследовании, проектировании и управлении процессами химической технологии; использовать в своей практической деятельности для достижения этих целей известные пакеты прикладных программ; Не владеет методами математической статистики для обработки результатов активных и пассивных экспериментов; ме-	Слабо знает методы построения эмпирических (статистических) и физико-химических (теоретических) моделей химико-технологических процессов; методы идентификации математических описаний технологических процессов на основе экспериментальных данных; методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и/или физико-химических моделей; Слабо умеет применять известные методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, моделирования, идентификации и оптимизации при исследовании, проектировании и управлении процессами химической технологии; использовать в своей практической деятельности для достижения этих целей известные пакеты прикладных программ; Слабо владеет методами математической статистики для обработки результатов	Хорошо знает методы построения эмпирических (статистических) и физико-химических (теоретических) моделей химико-технологических процессов; методы идентификации математических описаний технологических процессов на основе экспериментальных данных; методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и/или физико-химических моделей; Хорошо умеет применять известные методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, моделирования, идентификации и оптимизации при исследовании, проектировании и управлении процессами химической технологии; использовать в своей практической деятельности для достижения этих целей известные пакеты прикладных программ; Хорошо владеет методами математической статистики для обработки результатов	Уверенно знает методы построения эмпирических (статистических) и физико-химических (теоретических) моделей химико-технологических процессов; методы идентификации математических описаний технологических процессов на основе экспериментальных данных; методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и/или физико-химических моделей; Уверенно умеет применять известные методы вычислительной математики и математической статистики для решения конкретных задач расчета, моделирования, идентификации и оптимизации при исследовании, проектировании и управлении процессами химической технологии; использовать в своей практической деятельности для достижения этих целей известные пакеты прикладных программ; Уверенно владеет методами математической статистики для обработки результатов



Таблица 7 – Критерии оценивания

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « <b>отлично</b> » заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « <b>хорошо</b> » заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « <b>удовлетворительно</b> » заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку « <b>неудовлетворительно</b> » заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

## 6.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда, электронные издания.

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль). Издания, находящиеся в электронном доступе (электронный ресурс), удовлетворяют этому требованию автоматически. Электронный доступ приведен в виде ссылок после обычного описания издания.

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библиотеке
6.1.1.	Р.Ф. Маликов	Основы математического моделирования.	М. : Горячая линия-Телеком, 2010.	Учеб.пособие Рекомендовано УМ но УМО по проф.- пед.образованию	1
6.1.2.	Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина	Электрохимия	СПб.; Издательство «Лань», 2015. – 672 с	Учебное пособие (Учебник для вузов . Специальная литература).	1
6.1.3.	И.М. Федоткин	Математическое моделирование технологических процессов.	М.: ЛИБРОКОМ, 2011.	Учеб.пособие Рекомендовано М- во высш.и сред.спец.образова ния УССР	4
6.1.4.	В.А. Гончаров	Методы оптимизации	М. : Юрайт- Высш.образование, 2014.	Учеб.пособие	1

6.1.5.	В. И. Вершинин, Н. В. Перцев	Планирование и математическая обработка резуль- татов химического эксперимента	Издательство "Лань", 2022	Учеб.пособие для вузов	1
6.1.6.	О.Л. Козина, В.В.Исаев, Е.Г.Ивашкин, Ю.Л. Гунько, М.Г. Михаленко	Моделирование и оптимизация про- цессов электрохи- мических произ- водств" часть 1. микро- и макроки- нетика.	Нижний Новго- род, [Изд-во НГТУ], 2016. – 53с.	Учебное пособие	10
6.1.7.	И.П. Гайдышев	Решение научных и инженерных зад ач средствами Excel, VBA и C/C++	СПб. : БХВ- Петербург, 2004	Учеб.пособие	2

## 6.2. Справочно-библиографическая литература.

№ п/п	Автор(ы)	Заглавие	Издательство, год издания	Назначение, вид издания, гриф	Кол-во экз. в библио- теке
6.2.1.	А. М. Гумеров	Математическое моделирование химико- технологических процессов	М.: "Лань" 2022	Учебное пособие	1
6.2.2.	Е. В. Егорова, А. Ю. Закгейм	Математическое моделирование химико - техноло- гических процес- сов:	МИРЭА - Рос- сийский техно- логический уни- верситет, 2021	Учебно- методическое по- собие.	1
6.2.3.	Н.В. Ушева, О.Е. Мойзес, О.Е. Ми- тиянина, Е.А. Кузьменко	Математическое моделирование химико- технологических процессов:	Томский поли- технический университет, 2014	Учебное пособие	1
6.2.4.	Е.В. Нестерова	Общая химическая технология: Кине- тика химических процессов. Хими- ческие реакторы	Санкт- Петербургский государственный лесотехнический университет име- ни С.М. Кирова, 2013	Учебное пособие	1
6.2.5.	Н.С. Бахвалов	Численные мето- ды и программи- рование.	М.: Бином, 2003	Учебное пособие для Вузов	2

## 6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Моделирование химико-технологических процессов» находятся в отдельном документе.

дятся на кафедре «Технология электрохимических производств и химии органических веществ».

## 7.ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

### 7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

### 7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	<a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>
2	Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Юрайт	<a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>
4	TNT-ebook	<a href="https://www.tnt-ebook.ru/">https://www.tnt-ebook.ru/</a>

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 – Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	База данных стандартов и регламентов РОССТАНДАРТ	<a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a>
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	<a href="https://cyberpedia.su/21x47c0.html">https://cyberpedia.su/21x47c0.html</a>

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ**

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 1160 – 15 компьютеров);
  - читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
  - ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

При проведении лекций и лабораторных практикумов на кафедре используется материально-техническое оснащение аудиторий и лабораторий кафедры, применяемое в реализации учебного процесса, приведенное в образовательной программе профиля "Технология материалов и изделий электронники и наноэлектронники" компьютерная и офисная техника (ПК, принтер, копировальная техника).

№	Наименование аудиторий и помещений кафедры	Оснащенность аудиторий помещений и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	1345 Мультимедийная аудитория (для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра «Технология электрохимических производств и химии органических веществ»), 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, дом 24, корп. 1	1. Доска меловая; 2. Экран настенный; 3. Рабочее место преподавателя; 4. Рабочее место студента - 28 чел. 5. Мультимедийный проектор Epson ER; 6. Персональный компьютер, Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30 GHz 4,00 ГБ ОЗУ /HDD 500.	1. Windows SL 8.1 (подписка Dr. Spark Prem, договор № 0509/KMP от 15.10.18) 2. Dr.Web (с/н ZNFC-CR5D-5U3U-JKGP от 20.05.2024). Распространяемое по свободной лицензии: 3 Adobe Acrobat Reader X (Freeware); 4. P7 офис 5. Zoom (Free) (1 шт.)
2	1160 Компьютерный зал Учебная лаборатория (для проведения занятий лабораторного и практического типа, групповых и индивидуальных	1. Доска маркерная; 2. Рабочее место преподавателя; 3. Рабочее место студента - 14	1. WinXP (Dream Spark Premium 700087777); 2. MSOffice 2013 Standard Russian Academic OPEN

№	Наименование аудиторий и помещений кафедры	Оснащенность аудиторий помещений и помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
	консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации) (кафедра «Технология электрохимических производств и химии органических веществ»), 603155, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Минина, дом 24, корп. 1	чел. 4. Персональный компьютер, Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 3.00 GHz 2 Гб ОЗУ /HDD 1 Тб	No Level (Microsoft Open License Academic № 45990647 (безсрочная)); (14 шт.)

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии**

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Моделирование химико-технологических процессов», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ТЭПиХОВ» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях, практических и лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с оценкой с учетом текущей успеваемости.

### **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала.

ла. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

### **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

– качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;

– качество оформления отчета по работе;

– качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

1. О.Л. Козина, В.В. Исаев, Е.Г. Ивашкин, Ю.Л. Гунько, М.Г. Михаленко «Моделирование и оптимизация процессов электрохимических производств» учебное пособие/НГТУ им Р.Е.Алексеева, Н. Новгород, 2016г. 105с.

### **10.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в разделе 9). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ТЭПиХОВ».

## **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- теоретический опрос;
- защита отчетов по лабораторным работам;
- зачет с оценкой.

## **11.1. Типовые вопросы для лабораторных работ**

### **Образцы вопросов для проведения коллоквиума:**

1. Виды существующих моделей для описания химико-технологических систем.
2. Неприменимость теории подобия для описания электрохимических систем.
3. Что такое вычислительный эксперимент
4. Применение математического моделирования для определения параметров химической реакции и механизма ее протекания
5. В чем заключается иерархический принцип моделирования химико-технологических процессов?
6. Составьте математическую модель сложной химической реакции с промежуточным тепловым режимом. Необходимое число компонентов в системе.  $A + 2 P \rightarrow C + D \rightleftharpoons M$
7. Моделирование гетерогенной изотермической реакции 1-го порядка, предшествующей э/химической. Зависимости концентрации и поляризации. Входная величина – ток.
8. Дайте определение параметрической чувствительности. Для чего нужен ее анализ?
9. Расчет кинетических параметров гомогенных и гетерогенных реакций.
10. Почему при составлении балансовых уравнений для реактора идеального смешения в качестве элементарного объема может быть принят полный объем реактора?
11. Моделирование химических реакций, осложненных диффузионным, миграционным и конвективным массопереносом.
12. Расчет последовательной химической реакции в реакторах идеального смешения.
13. Расчет обратимой реакции в реакторах идеального вытеснения.
14. Почему для решения уравнения диффузионной модели его обычно сначала приводят к безразмерному виду?
15. Модель единичной цилиндрической поры.
16. Эквивалентная электрическая схема пористого электрода. Описание распределения тока в пористом электроде.
17. Расчет распределение концентрации KOH в пористом электроде.
18. С помощью конечных разностей получите численное выражение диффузионного уравнения для явного метода сеток.
19. Составьте граничные условия математической модели процесса диализа.
20. Составить матрицу планирования полнофакторного эксперимента для 4-х факторов  $t=1\text{-}2\text{ч}$ ;  $T=20\text{-}500^\circ\text{C}$ ;  $C_1=2,5\text{-}3,5\text{г/л}$ ;  $C_2=30\text{-}90\text{г/л}$ . При каких реальных значениях факторов нужно проводить 4-ый опыт.
21. В каких случаях применяется ПФЭ.
22. Составить матрицу планирования 25-2. Дайте определение определяющего контраста. Когда используется дробнофакторный эксперимент?
23. Планы 1-го и 2-го порядка. (задачи, области исследования). Проанализировать уравнение регрессии  $y = 57,2 + 32x_1 - 0,7x_2 + 1,8x_1x_2$ .
24. Какие нужно задать параметры процесса для максимального выхода продукта, если он достигается при следующих кодированных значениях факторов:  $x_1 = 0,77$ ;  $x_2 = 0,21$ ;  $x_3 = -1$  ( $x_1 \equiv T = 2200 \div 3000^\circ\text{C}$ ;  $x_2 \equiv V[\text{м}^3/\text{с}] = 0,2\text{-}0,3$ ;  $x_3 \equiv C = 1\text{-}5\text{г/л}$ ).
25. Метод крутого восхождения при планировании эксперимента.

## **11.2. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме зачета с оценкой**

1. Каковы основные требования к моделированию? Этапы моделирования.
2. В чем заключаются достоинства и недостатки физического моделирования.
3. Перечислите основные этапы математическое моделирования.
4. Сформулируйте основные положения теория подобия.
5. Какие физические законы лежат в основе электрогидродинамической аналогии?

6. Для исследования каких процессов наиболее удобно использовать метод электротепловой аналогии?
7. Какими особенностями обладает химико-технологическая система?
8. Что представляют собой внешние связи химико-технологической системы?
9. В каких случаях используется эмпирический метод исследования?
10. В чем заключается суть структурного подхода к описанию системы?
11. Сравните сильные и слабые стороны эмпирического и структурного подходов.
12. Покажите взаимосвязь эмпирического и структурного подходов при разработке нового технологического процесса.
13. Составьте математическую модель изотермической реакции A->B.
14. Напишите кинетические уравнения изотермической химической реакции A↔B.
15. Составьте математическую модель неизотермической гомогенной химической реакции A+B->P.
16. Для решения каких уравнений используется метод Рунге-Кутта? Сущность метода.
17. Напишите в общем случае балансовые уравнения процесса в реакторе.
18. Каким условиям должен удовлетворять элементарный объем и элементарный промежуток времени для которого составляются балансовые уравнения?
19. Составьте математическую модель периодического аппарата идеального смешения при протекании нескольких химических реакций.
20. Составьте уравнение материального баланса для стационарного проточного реактора идеального смешения.
21. Получите математическую модель процесса в реакторе идеального вытеснения. Сформулируйте допущения модели идеального вытеснения.
22. Составьте алгоритм расчета на ЭВМ изменения во времени температуры в периодическом реакторе идеального смешения с рубашкой обогрева при проведении в нем необратимой эндотермической реакции первого порядка.
23. Составьте алгоритм расчета на ЭВМ распределения степени превращения по длине реактора идеального вытеснения с промежуточным тепловым режимом при проведении в нем необратимой экзотермической реакции.
24. Сформулируйте постановку задачи оптимизации. Какая величина выбирается в качестве критерия оптимизации при разработке оптимального температурного режима?
25. Назовите причины отклонения режимов химических потоков в промышленности от идеальности.
26. Какая величина называется параметром модели реактора с неидеальной структурой потока? Проанализируйте достоинства и недостатки однопараметрических моделей по сравнению с многопараметрическими.
27. На чем основан подход к описанию реальных реакторов ячеичной моделью? Что является параметром ячеичной модели?
28. Какие допущения делают при составлении математического описания однопараметрической диффузионной модели реактора вытеснения?
29. Сформулируйте и проанализируйте граничные условия для решения уравнения однопараметрической модели.
30. Составьте уравнение двухпараметрической диффузионной модели проточного реактора, параметрами которой являются коэффициент продольной диффузии и коэффициент радиальной диффузии.
31. Сформулируйте основные свойства интегральной и дифференциальной функций распределения времени пребывания реагентов в проточном реакторе.
32. Для решения каких задач используется функция распределения времени пребывания?
33. Сформулируйте общие особенности гетерогенных процессов. Дайте понятие лимитирующей стадии.

34. Какие вы знаете кинетические модели гетерогенных процессов в системе “газ – твердое вещество”?
35. Опишите основные стадии гетерогенного процесса в модели с непрореагировавшим ядром.
36. Получите расчетную зависимость между временем протекания гетерогенной реакции и степенью превращения твердого реагента, если процесс лимитируется химической реакцией.
37. Сравните достоинства и недостатки пленочной модели и моделей обновления поверхности, используемых при описании газожидкостных реакций.
38. Какие вы знаете модели пористых сред? Параметры этих моделей.
39. Процессы массопереноса в растворах электролитов. Вывод уравнения массопереноса
40. Математическое моделирование электрохимических процессов, протекающих в пористых электродах (особенности).
41. Метод сеток при решении уравнений диффузионной кинетики. Начальные и граничные условия.
42. Моделирование работы секции обессоливания электродиализатора.
43. Расчет хронопотенциометрической кривой электрохимического процесса, протекающего с диффузионными затруднениями в ограниченном объеме.
44. Расчет уравнений диффузионной кинетики. Замена производных конечными разностями.
45. Моделирование отрицательной пластины Pb-кислотного аккумулятора.
46. Сформулируйте цели, задачи и требования к планированию эксперимента.
47. Для каких целей используются планы первого и второго порядков?
48. Составьте матрицу планирования полнофакторного эксперимента для двух факторов.
49. Дайте сравнительную оценку применения полнофакторного и дробнофакторного экспериментов.
50. Какие вы знаете способы определения почти стационарной области проведения эксперимента?
51. Составьте матрицу планирования для трех факторов при описании процесса в почти стационарной области.
52. Как выбирается величина шага изменения факторов в методе крутого восхождения.
53. По каким критериям проверяется адекватность модели? Что показывают коэффициенты в уравнении регрессии?
54. Для чего применяют статистическую обработку измерений? Опишите порядок статистической обработки косвенных измерений.