

**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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Методы оптимизации энерго-ресурсосберегающих
химико-технологических систем» (Б1.В.06)»**

Направление подготовки

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

Магистерская программа

**«Кибернетика для
инновационных технологий»**

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена к.т.н., доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов В.А. Налетовым

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол №8.

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**, магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий», рекомендациями методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины **кафедрой кибернетики химико-технологических процессов** РХТУ им. Д.И.Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина **«Методы оптимизации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики, вычислительной математики, физической химии, общей химической технологии, моделирования процессов в химической технологии, а также численных методов решения уравнений математических моделей химико-технологических процессов.

Цель дисциплины – овладение магистрантами системно-аналитическими принципами, теоретическими основами и методами оптимизации энерго- и ресурсосберегающих химико-технологических систем.

Задачи дисциплины:

- изучение иерархической структуры химико-технологических систем, множеств варьируемых переменных и критериев для решения оптимизационных задач;
- изучение основных подходов к оптимизации химико-технологических систем;
- изучение принципа оптимальной организации химико-технологических систем;
- изучение методов оптимальной дифференциации функций системы между элементами;
- изучение стратегий решения оптимизационных задач;

Дисциплина «Методы оптимизации энерго-ресурсосберегающих химико-технологических систем» преподаётся во 2 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:**

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, вырабатывать 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

Общепрофессиональные 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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 – 6)
			ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности	

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-2. Готов к анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	ПК-2.2. Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	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 – 6).
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по	Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения	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 ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	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.

разработке технологической документации	научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).		ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности	С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6).
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-4. Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	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 – 6)
			ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

– принципы, теоремы и методы оптимизации сложных объектов химической технологии с непрерывным и периодическим режимом работы технологических аппаратов;

Уметь:

– практически применять приобретенные в процессе изучения дисциплины знания для решения задач оптимизации химико-технологических систем;

Владеть:

– вычислительной техникой, алгоритмами оптимальной организации ХТС и пакетами прикладных программ.

3. ОБЪЁМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр.ч.
Общая трудоемкость дисциплины	4	144	162
Контактная работа – аудиторные занятия:	1,89	68	51
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	1,42	51	38,25
Самостоятельная работа	1,11	40	30
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	1,11	40	30
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лек-ции	ПЗ	СР
1.	Раздел 1. Особенности объекта оптимизации, варьируемые переменные, иерархия критериев, классификация подходов к оптимизации	4	2	-	0,7
1.1	Особенности химико-технологических систем	2	1	-	0,35
1.2	Классификация подходов к оптимизации химико-технологических систем	2	1	-	0,35
2.	Раздел 2. Элементы классического подхода к оптимизации ХТС	48	3	9	13
2.1	Постановка задачи оптимизации	8,5	0,5	2	2
2.2	Условная оптимизация	8,5	0,5	2	2
2.3	Методы геометрического и динамического программирования	16	1	3	4,5
2.4	Методы линейного и целочисленного программирования	15	1	2	4,5
3.	Раздел 3. Методы оптимальной организации систем	70	12	-	20,5
3.1	Основные положения и постулаты	22	4	-	6,5
3.2	Критерии организованности системы	21	3	-	6,5
3.3	Стратегии и алгоритмы решения оптимизационных задач	27	5	-	7,5
4.	Раздел 4. Решение практических оптимизационных задач	58	-	42	5,8
4.1	Вычислительные эксперименты по решению оптимизационных задач: газификация твердых горючих ископаемых	29	-	21	2,9
4.2	Вычислительные эксперименты по решению оптимизационных задач: конверсия синтез-газа	29	-	21	2,9
	ИТОГО	180	17	51	40
	Экзамен	36			
	ИТОГО	144			

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Особенности объекта оптимизации, варьируемые переменные, иерархия критериев, классификация подходов к оптимизации

1.1. Особенности химико-технологических систем. Множества варьируемых переменных в задачах энерго-ресурсосбережения в химико-технологических системах. Описание топологии систем.

1.2. Классификация подходов к оптимизации. Подходы к созданию энерго-ресурсосберегающих ХТС. Иерархия критериев.

Раздел 2. Элементы классического подхода к оптимизации ХТС

2.1. Постановка задачи оптимизации. Основные понятия. Формулировка задач одномерной и многомерной безусловной оптимизации. Классификация задач оптимизации. Необходимые и достаточные условия существования экстремума функций одной и нескольких

переменных. Формулировка задач линейного и целочисленного программирования.

2.2. Условная оптимизация. Понятие условного экстремума. Метод неопределенных множителей Лагранжа. Задача оптимального распределения объема каскада реакторов

2.3. Методы геометрического и динамического программирования. Геометрическое программирование. Математическая формулировка принципа оптимальности в динамическом программировании. Задача оптимизации для каскада химических реакторов.

2.4. Методы линейного и целочисленного программирования. Понятие области решения. Симплекс-метод Данцига решения задачи линейного программирования. Метод искусственного базиса. Задача оптимальной организации производства продукции при ограничении запасов сырья. Пример решения задачи целочисленного программирования MILP.

Раздел 3. Методы оптимальной организации систем

3.1. Основные положения и постулаты. Понятие организованности системы. Развитие смысловых трактовок понятия энтропии. Основные положения и постулаты метода оптимальной организации систем. Иерархическая структура химико-технологической системы и ее представление с позиции теории информации.

3.2. Критерии организованности системы. Информационный и термодинамический КПД. Понятие фактора затрат. Весовой коэффициент.

3.3. Стратегии и алгоритмы решения оптимизационных задач. Вывод характеристики дифференциации функций ХТС. Оптимальная дифференциация функций многоцелевого процесса между потоками продуктов. Оптимальная организация системы в процессе ее элементного усложнения. Методы распределения затрат между потоками многопоточных элементов (теплообмен). Стратегия и алгоритм оптимальной организации ХТС с заданным типом и множеством элементов. Стратегия и алгоритм оптимальной организации ХТС в условиях неопределенности элементной и топологической структур.

Раздел 4. Решение практических оптимизационных задач

4.1. Вычислительные эксперименты по решению оптимизационных задач: газификация твердых горючих ископаемых. Постановка задачи. Оптимальная организация процесса.

4.2. Вычислительные эксперименты по решению оптимизационных задач: конверсия синтез-газа. Постановка задачи. Оптимальная организация процесса.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	Знать:				
1	принципы, теоремы и методы оптимизации сложных объектов химической технологии с непрерывным и периодическим режимом работы технологических аппаратов	+	+	+	+
	Уметь:				
2	практически применять приобретенные в процессе изучения дисциплины знания для решения задач оптимизации химико-технологических систем	+	+	+	+
	Владеть:				
3	вычислительной техникой, алгоритмами оптимальной организации ХТС и пакетами прикладных программ.	+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>универсальные компетенции и индикаторы их достижения:</u>					
	Код и наименование УК)	Код и наименование индикатора достижения УК			
4	УК-1 – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	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		+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u>					
5	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		+	+
		ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по		+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
		ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности				
6	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-2.2. Умеет применять информационно- коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ		+	+	+
7	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		+	+	+
		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			+	+
8	ПК-4. Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий		+	+	+
		ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для	+	+	+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
		исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств				

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

№	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	2.1	Оптимизация равновесных экзотермических реакций.	2
2	2.1	Оптимизация многосекционного адиабатического реактора.	2
3	2.2	Оптимизация многостадийных процессов.	3
4	2.3	Оптимизация периодического процесса фильтрации.	2
5	4.1	Оптимальная организация процесса газификации бурого угля.	21
6	4.2	Оптимальная организация процесса паровой конверсии синтеза газа.	21
		ИТОГО	51

6.2. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку к контрольным работам;
- выполнение расчётно-графических работ согласно индивидуальному заданию;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы;
- подготовку к сдаче зачёта по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимую для изучения 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 учебной 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 контрольной работы (максимальная оценка 20 баллов), практических заданий (максимальная оценка 40 баллов) и итогового контроля в форме экзамена (максимальная оценка 40 баллов).

8.1. Темы и примеры контрольных работ для текущего контроля освоения дисциплины

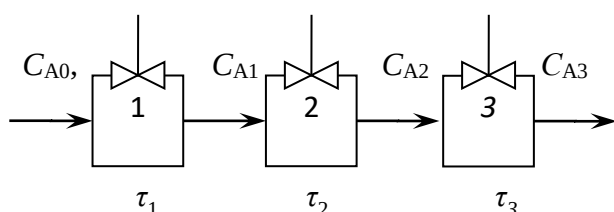
Для текущего контроля предусмотрена контрольная работа. Максимальная оценка за контрольную работу составляет 20 баллов.

Контрольная работа № 1

Задание 1 (10 баллов). Определить оптимальные значения переменных x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , с тем, чтобы критерий достигал минимального значения $R = 6 - 2x_2 + x_3 \longrightarrow \max$. Для решения применить симплекс-метод Данцига для задач линейного программирования.

Ограничения заданы в виде равенств:
$$\begin{cases} x_1 = 5 - x_2 - x_3 \\ x_4 = 4 - 2x_2 + x_3 \\ x_5 = 1 + 5x_2 - 2x_3 \end{cases}$$

Задание 2 (10 баллов). В каскаде реакторов идеального смешения протекает простая необратимая реакция второго порядка $A \rightarrow P$. Аппарат работает при изотермических условиях, температура одинакова во всех аппаратах. Требуется определить среднее время пребывания реакционной массы в каждом из аппаратов с тем, чтобы общее время пребывания реакционной массы в системе было минимальным. Задачу решить с помощью динамического программирования.



Заданные концентрации $C_{A0} = 4$ моль/литр, $C_{A3} = 0,5$ моль/литр, константа скорости.

$$k = 2 \left(\text{час}^{-1} \left(\frac{\text{моль}}{\text{л}} \right)^{-1} \right).$$

Уравнение материального баланса для реактора

$$\tau_i = \frac{C_{A,i-1} - C_{Ai}}{k C_{Ai}^2};$$

Критерий $\sum_i \tau_i \rightarrow \min$ (время пребывания смеси в реакторе).

8.2. Примеры вариантов практических заданий

Для текущего контроля выполнение 2 взаимосвязанных заданий:

- Практическое задание №5. Оптимальная организация процесса газификации угля;
- Практическое задание №6. Оптимальная организация процесса конверсии синтез-газа;

Практическое задание №5. Оптимальная организация процесса газификации угля.

Пример варианта 1 (15 баллов)

Дано:

Рассматривается процесс пылеугольной газификации по методу Копперс-Тотцек, протекающий при атмосферном давлении. Процесс является в данном случае первым технологическим звеном в производстве метанола и высших спиртов. Газифицирующими агентами в процессе Копперс-Тотцек являются кислород и водяной пар. В качестве сырья использовался подсушенный на стадии подготовки до пятипроцентной остаточной влажности бурый уголь Бородинского месторождения.

Изначально на микроуровне число степеней свободы равно четырем, что означает, что в задаче имеется четыре оптимизируемых переменных.

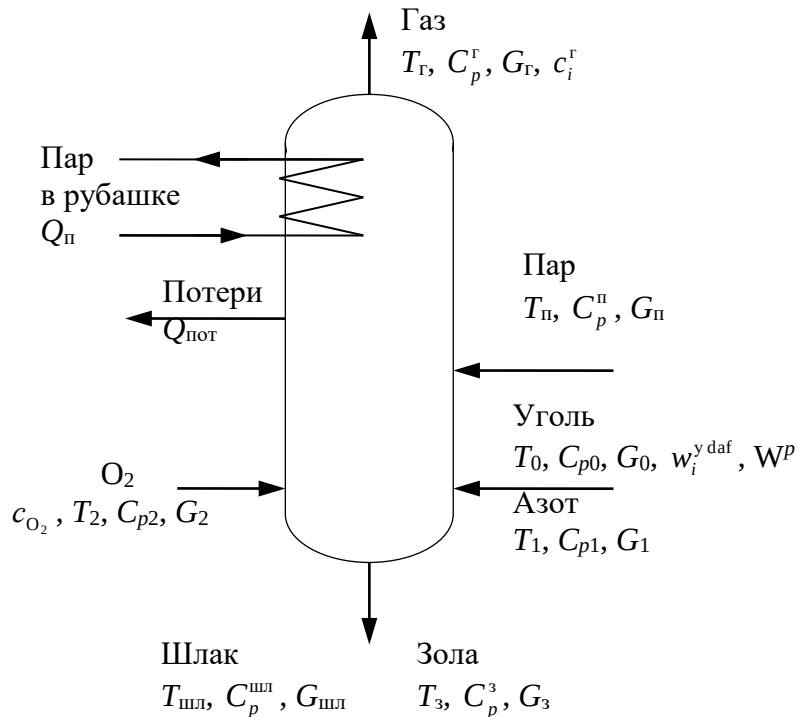
Если известны расходы и температуры газифицирующих агентов (G_2 , $G_{\text{п}}$, T_2 , $T_{\text{п}}$), то температуру $T_{\text{г}}$, состав синтез-газа и расход синтез-газа можно определить из уравнений математической модели.

Задача оптимизации является частью двухуровневой задачи, сформулированной следующим образом: для выбранного численно минимального значения весового коэффициента, обеспечивающего минимум критерия организованности, решалась задача подстройки параметров процесса газификации под данное значение показателя макроуровня.

Поэтому постановка задачи оптимизации на микроуровне в целом может быть представлена следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{cp} = \frac{T_{\text{ВЫХ}} - T_{\text{ВХ}}}{\ln \frac{T_{\text{ВЫХ}}}{T_{\text{ВХ}}}} = \text{idem}, T_{\text{ВХ}} = \frac{\sum G_i^{\text{ВХ}} C_{pi}^{\text{ВХ}} T_i^{\text{ВХ}}}{\sum G_i^{\text{ВХ}} C_{pi}^{\text{ВХ}}} \\ G_2 + G_{\text{п}} = G_{\text{общ}} = \text{idem} \\ \frac{K}{\eta_T} \rightarrow \min \end{array} \right.$$

Первое условие характеризует средний температурный уровень процесса, который определяется входной температурой и температурой в зоне газификации и является ограничением (по условию задачи).



Исходные данные:

Таблица 1 – Исходные данные для расчета процесса

Уголь		Поток кислорода O_2	
T_0, K	293	T_2, K	423
$G_0, \text{кг/ч}$	1000	$G_2, \text{кг/ч}$	655
$W^p, \%$	5	$c_{O_2}, \text{мол. \%}$	98
Элементный состав угля $w_i^y, \text{мас. \% daf}$		$c_{N_2}, \text{мол. \%}$	2
C	75	Азот (пневмотранспорт)	
O	20	T_1, K	293
H	4	$G_1, \text{кг/ч}$	100
N	1	Пар	
Шлак $G_{\text{шл}}, \text{кг/ч}$	76	$T_{\text{п}}, K$	473
Зола $G_3, \text{кг/ч}$	19	$G_{\text{п}}, \text{кг/ч}$	100

Условия для оптимизации: $T_{\text{ср}} = 900,0 \text{ К}$, $G_{\text{общ}} = 850,0 \text{ кг/ч}$.

Требуется выполнить:

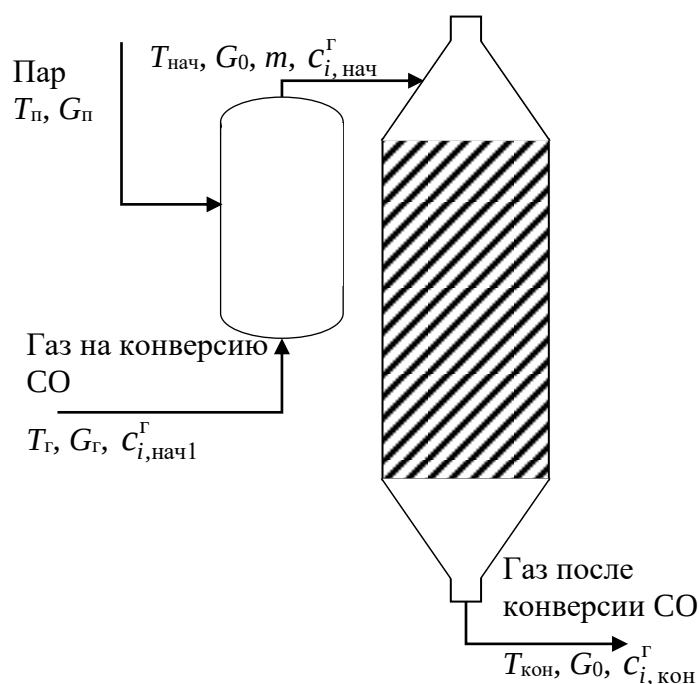
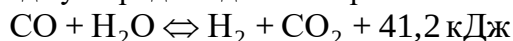
На основе исходных данных:

- 1) Рассчитать математическую модель процесса - определить расход и состав синтез-газа и температуру в зоне газификации;
- 2) Определить оптимальные параметры процесса газификации в соответствии с заданием.
- 3) Сделать выводы по работе. технологическое обосновать полученные результаты.

**Практическое задание №6. Оптимальная организация процесса конверсии синтез-газа.
Вариант 1 (15 баллов)**

Дано:

Рассматривается высокотемпературный процесс каталитической конверсии синтез-газа в одну стадию. Синтез-газ получен при газификации бурого угля. В процессе необходимо обеспечить требуемого соотношения ключевых компонентов в синтез-газе на выходе: $\text{H}_2:\text{CO}$. Основная реакция конверсии оксида углерода водяным паром – экзотермическая:



Задача оптимизации является частью двухуровневой задачи – решалась задача подстройки параметров процесса газификации под заданное значение показателя макроуровня.

Задачу оптимизации процесса конверсии на микроуровне можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{cases} T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}}{\ln \frac{T_{\text{кон}}}{T_{\text{нач}}}} = idem \\ G_{\text{г}} + G_{\text{п}} = idem \Leftrightarrow m = idem \\ \frac{dT}{dx} = \frac{Q_p c_{\text{CO,нач}}^{\text{г}}}{C_p^{\text{г}}} \Rightarrow T_{\text{кон}} = T_{\text{нач}} + \int_0^{x_{\text{кон}}} \frac{Q_p c_{\text{CO,нач}}^{\text{г}}}{C_p^{\text{г}}} dx \\ \frac{K}{\eta_T} \rightarrow \min \end{cases}$$

Исходные данные:

Синтез-газ, направляемый в реактор конверсии, имеет следующий состав (объемный состав в пересчете на нормальные условия – 1 атм, 20 °С):

CO	H ₂	CO ₂	N ₂	H ₂ O
1082,7 м ³ /ч	498,7 м ³ /ч	81,23 м ³ /ч	98,78 м ³ /ч	71,0 м ³ /ч

Массовый расход синтез-газа принят равным 1625 кг/ч.

Коэффициент избытка пара равен $m = 1,000$.

Средняя температура равна $T_{cp} = 400$ К.

Требуется выполнить:

На основе исходных данных:

- 1) Рассчитать математическую модель процесса;
- 2) Определить оптимальные параметры процесса конверсии при заданных ограничениях и наличии дополнительного требования к составу конечного продукта.
- 3) Сделать выводы по работе. технологическое обосновать полученные результаты.

**8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины
(экзамен, 2 семестр)**

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит три контрольных вопроса. Максимальная оценка за каждый теоретический вопрос №1 и №2 – **10 баллов**. Максимальная оценка за теоретический вопрос №3 – **20 баллов**.

Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины:

1. Общая характеристика задач оптимизации.
2. Необходимые и достаточные условия существования экстремума функции многих переменных.
3. Оптимизация температурного режима реактора путем построения профиля.
4. Условный экстремум. Определение условного экстремума.
5. Оптимизация методом неопределенных множителей Лагранжа. Активные и пассивные ограничения.
6. Теорема о среднем. Задача геометрического программирования.
7. Решение оптимизационной задачи методом динамического программирования.
8. Задачи линейного программирования. Область решений.
9. Симплекс-метод Данцига для решения задачи линейного программирования.
10. Метод искусственного базиса при решении задачи линейного программирования.
11. Целочисленное программирование. MILP и MINLP.
12. Стохастическая оптимизация. Алгоритм имитации отжига (simulated annealing).
13. Уравнение Шеннона-Винера и его термодинамический аналог уравнение Гиббса-Гельмгольца. Основной вывод при сравнении уравнений.
14. На каком иерархическом уровне энтропия минимизируется и на каком - максимизируется?
15. С какими состояниями идентифицируется уровень отсчета для решения информационной задачи $H_{вых}=0$? Приведите примеры процессов.
16. Физический смысл нулевого начала термодинамики.
17. Исходные предпосылки для использования аппарата информационного анализа для процессов химического превращения.

18. Как учитываются альтернативы в организации химико-технологического процесса с позиции информационного подхода?
19. Можно ли получить информацию без затрат обобщенной работы?
20. Что такое информационный поток? Какую информацию он несет?
21. Исходные предпосылки для использования аппарата информационного анализа для газодинамических процессов.
22. В чем отличие статистической энтропии и энтропии информации?
23. Статистический и технологический смысл величины K .
24. Какое следствие вытекает из распределения Больцмана?
25. Физический смысл весового коэффициента.
26. Иерархическая структура ХТС.
27. Алгоритм оптимизации заданной элементной структуры ХТС.
28. Уровни отсчета реального и эталонного в решении информационной задачи.
29. Пределы изменения информационного КПД, количества информации, весового коэффициента.
30. В чем смысл представления первой модели информационного процесса?
31. Какой закон отвечает за оптимальное распределение весовых коэффициентов?
32. Физический смысл макроэнтропии.
33. Какие тенденции имеют макро- и микроэнтропии при организации ХТС?
34. Какие характеристики в большей степени влияют на организованность ХТС?
35. Что такое информационная модель исходов?
36. Из чего следует мультипликативность факторов затрат?
37. Алгоритм оптимизации «сверху-вниз».
38. Диаграмма распределения средних энергетических уровней.
39. Обобщенная флуктуация энергии.
40. Условие оптимальной организации многоцелевого процесса.
41. Физический смысл множителей Лагранжа в критериях усложнения ХТС.
42. Существо метода «выделения».
43. Существо «уравнительного метода».
44. Статистическая независимость исходов.
45. Оптимальная организация виртуальной системы, состоящей только из целевых процессов.

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

8.4. Структура и пример экзаменационного билета

Экзамен по дисциплине «Методы оптимизации энерго-ресурсосберегающих химико-технологических систем» проводится во 2 семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Экзаменационный билет состоит из 2 вопросов и 1 задачи, относящихся к указанным разделам.

Пример экзаменационного билета:

"Утверждаю"
Зав. каф. КХТП
Глебов М.Б.

Министерство науки и высшего образования РФ
Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева
Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии
Магистерская программа –
«Кибернетика для инновационных технологий»

«__» ____ 20__ г.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

БИЛЕТ № 1

1. Теорема о среднем. Задача геометрического программирования. (10 баллов).

2. Стратегия и алгоритм оптимизации химико-технологической системы с заданным типом и множеством элементов на примере системы с реактором в общем виде. (10 баллов).

3. Алгоритм оптимизации процесса газификации, обоснование выбора варьируемых переменных, анализ тенденций их изменения, технологическая интерпретация результатов оптимизации (в рамках задания) (20 баллов).

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Налетов В.А., Налетов А.Ю. Основы проектирования технологии топлива и углеродных материалов. Части 1 и 2. Учеб. пособия. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2015. 208 с.
2. Налетов В.А., Налетов А.Ю., Глебов М.Б. Вычислительные эксперименты в области построения экотехнологий. Метод. Рекомендации. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2018. 46 с.

Б) Дополнительная литература:

1. Макаров В.В. Оптимизация химико-технологических систем с дискретным режимом работы. Учеб. Пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 85 с.
2. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. М.: Химия. 1965. 564 с.
3. Кольцова Э.М., Скичко А.С., Женса А.В. Численные методы решения уравнений математической физики и химии : учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2009. 224 с.
4. Кознов А.В., Ветохин В.Н., Бояринов А.И. Применение методов вычислительной математики в задачах химической технологии. Лабораторный практикум. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2008. 47 с.
5. Практикум по вычислительной математике: практикум / сост. В.Н. Калинин [и др.]; ред. Т.Н. Гартман. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. 67 с.
6. Бухаркина Т.В., Дигуров Н.Г., Юмашев А.Б. Основы кинетического моделирования и обработки экспериментальных данных: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. 84 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

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

Научно-технические журналы:

- Журнал «Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика». ISSN: 0137-0782.
- Журнал «Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика». ISSN: 2305-9052.
- Журнал «Сибирский журнал вычислительной математики». ISSN: 1560-7526.
- Журнал «Успехи в химии и химической технологии». ISSN: 1506-2017.
- Журнал «Applied Numerical Mathematics». ISSN: 0168-9274.
- Журнал «East-West Journal of Numerical Mathematics». ISSN: 0928-0200.
- Журнал «Journal of Numerical Mathematics». ISSN: 1570-2820.
- Журнал «Numerical Linear Algebra with Applications». ISSN: 1070-5325.
- Журнал «Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications». ISSN: 1004-8979.
- Журнал «Numerical Algebra, Control and Optimization». ISSN: 2155-3289.

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- конспекты лекций в формате *.pdf – 13;
- компьютерные презентации интерактивных лекций – 13, (общее число слайдов – 169);
- учебное пособие: Налетов В.А., Налетов А.Ю. Основы проектирования технологии топлива и углеродных материалов. Части 1 и 2. Учеб. пособия. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2015. 208 с.
- демонстрационные расчётные модули в EXCEL для ознакомления с методологией выполнения практических заданий № 5 и № 6;
- банк вариантов контрольных работ – 30;
- банк экзаменационных билетов – 30.

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн. При этом данный список дополняется следующим разделом:

- групповой чат в Skype, индивидуальные чаты в Gmail социальной сети <http://vk.com/>, групповые онлайн-конференции и индивидуальные онлайн-собеседования в Zoom или Skype.

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 01.01.2025 составляет 1 563 142 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 проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий вместимостью не менее 16 человек, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Компьютерный класс, насчитывающий не менее 15 посадочных мест, с предустановленным лицензионным программным обеспечением (Windows, Microsoft Excel) и выходом в Интернет для выполнения и контроля практических заданий.

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

11.2. Учебно-наглядные пособия

Учебные пособия по дисциплине.

Электронный раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Демонстрационные расчётные модули в EXCEL для ознакомления с методологией выполнения практических заданий.

11.3. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: инструкции по технике безопасности в компьютерном классе; методические рекомендации к практическим занятиям; учебные пособия; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде; раздаточный материал к разделам дисциплины; справочные материалы.

На кафедре КХТП используются электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; электронные конспекты лекций; учебно-методические разработки в электронном виде; демонстрационные программы; специализированное программное обеспечение; справочные материалы в электронном виде.

11.4. Перечень лицензионного программного обеспечения

№	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Windows 8.1 Professional Get	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License,	10	Бессрочно

	Genuine	Номер лицензии 62795478		
2	Microsoft Office Standard 2013	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License Номер лицензии 47837477	10	Бессрочно

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Особенности объекта оптимизации, варьируемые переменные, иерархия критериев, классификация подходов к оптимизации	Знает: особенности объекта, множества варьируемых переменных, описание топологии объекта, критерии в задачах энерго-ресурсосбережения, основные подходы к оптимизации, их принципиальные отличия. Умеет: сформулировать задачи оптимизации, выбрать критерий, варьируемые параметры и обосновать выбор подхода к оптимизации. Владеет: постановками задач энерго-ресурсосбережения, методами термодинамики, физической химии, численными методами дифференцирования и интегрирования	Учитывается интегрально совместно с блоком 2. Оценка за контрольную работу № 1, задание №1 (наивысший балл – 10). Оценка на экзамене.
Раздел 2. Элементы классического подхода к оптимизации ХТС	Знает: формулировки задач одномерной и многомерной безусловной оптимизации, задачи условной многомерной оптимизации, задач линейного и целочисленного программирования. Необходимые и достаточные условия существования экстремума функций одной и нескольких переменных. Условный экстремум. Метод неопределенных множителей Лагранжа. Математическую формулировку принципа оптимальности в динамическом программировании. Формулировку принципа максимума. Умеет: применять спектр оптимизационных задач на практике для целей энерго-ресурсосбережения ХТС. Владеет: методами численного решения систем линейных алгебраических уравнений, методом наименьших квадратов, методикой автоматизированной обработки экспериментальных данных в Excel.	Интегральная оценка совместно с модулем 1. Оценка за контрольную работу № 1, задание №1 (наивысший балл – 10). Оценка на экзамене.
Раздел 3. Методы оптимальной организации систем	Знает: Основные положения и постулаты метода оптимальной организации систем. Иерархическую структуру химико-технологической системы и ее представление с позиции теории информации. Информационный и термодинамический КПД. Весовой коэффициент и критерий организованности системы. Варианты	Оценка за контрольную работу № 1, задание № 2 (наивысший балл – 10). Оценка на экзамене.

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	оптимальной дифференциации функций ХТС между ее элементами. Стратегии и алгоритмы решения оптимизационных задач. Умеет: сформулировать задачу оптимальной организации системы в зависимости от исходной информации, выбрать стратегию решения задачи, сформировать алгоритм ее решения. Владеет: методикой расчета энтропии информации, статистического веса, весового коэффициента, термодинамического КПД, критерия макроэнтропии, усложнения системы, методами распределения затрат: уравнительным и выделения.	
Раздел 4. Решение практических оптимизационных задач	Знает: технологические аспекты технологий, представленных в рамках практических заданий, математическое описание процессов, стратегию решения оптимизационных задач. Умеет: использовать численные методы для решения задач из области химической технологии, строить автоматизированные модули в Excel для реализации математических моделей процессов химической технологии. Владеет: методикой расчёта критерия организованности в Excel, методикой поиска оптимального решения, методом поочерёдного изменения варьируемых переменных, навыками разработки модулей для реализации математических моделей процессов химической технологии.	Оценка за практ. занятия № 5 и 6 (наивысший балл – 40). Оценка на экзамене.

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 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
«Методы оптимизации энерго-ресурсосберегающих химико-технологических систем»
основной образовательной программы

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
2		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
3		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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Бифуркационный анализ химических систем»

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена к.т.н., доцентом, доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов А.С. Скичко.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол № 8.

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, магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий», рекомендациями методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И.Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина «Бифуркационный анализ химических систем» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана и является элективной дисциплиной. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики, вычислительной математики, физической химии, гетерогенного катализа и каталитических процессов, математического и компьютерного моделирования, методов нелинейной динамики, а также численных методов решения уравнений математических моделей.

Цель дисциплины – приобретение теоретических знаний и практических навыков использования современных методов бифуркационного анализа химических систем для решения широкого круга задач исследования и прогнозирования различных режимов протекания процессов химической технологии, биотехнологии и нанотехнологии, а также управления хаотическими режимами в химических системах.

Задачи дисциплины:

- обучение теоретическим основам и технологии проведения бифуркационного (параметрического) анализа;
- обучение практическим навыкам исследования режимов протекания химико-технологических, биотехнологических и нанотехнологических процессов на основе анализа их параметрических портретов и бифуркационных диаграмм;
- овладение навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции химических систем;
- ознакомление с основами управления хаотическими режимами в химических системах.

Дисциплина «Бифуркационный анализ химических систем» преподаётся 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 **профессиональных компетенций и индикаторов 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	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 – 6)
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-2. Готов к анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	ПК-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	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 – 6)

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
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-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	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 – 6)
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-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	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 – 6)

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
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-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	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 – 6)

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- теоретические основы бифуркационного анализа;
- технологию проведения однопараметрического и двухпараметрического анализа реакционных систем;
- типы хаотического поведения в химических системах;
- способы управления хаосом.

Уметь:

- прогнозировать и анализировать возможные качественные изменения в системах;
- проводить однопараметрический и двухпараметрический анализ химических систем;
- выявлять различные режимы функционирования химических систем и прогнозировать их поведение на основе анализа математических моделей;
- стабилизировать хаотический режим с помощью алгоритма пропорциональной обратной связи.

Владеть:

- методологией проведения бифуркационного анализа;
- навыками выявления возможных сценариев эволюции химических систем по их параметрическим портретам;
- методологией управления хаосом с обратной связью;
- практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции химических систем;
- навыками визуализации результатов прогнозирования.

3. ОБЪЁМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр.ч.
Общая трудоемкость дисциплины	7	252	189
Контактная работа – аудиторные занятия:	2,36	85	63,75
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0,94	34	25,5
Лабораторные занятия (ЛЗ)	0,94	34	25,5
Самостоятельная работа	3,64	131	98,25
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	3,64	131	98,25
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Подготовка к экзамену.	1	36	27
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Раздел дисциплины	Академ. часов				
		Всего	Лек.	ЛЗ	ПЗ	СР
1.	Раздел 1. Бифуркации в химических системах	58	5	8	10	35
1.1	Основные понятия качественной теории дифференциальных уравнений	14	1	–	3	10
1.2	Основные понятия теории бифуркаций	14	1	–	3	10
1.3	Сложные бифуркации в двумерных нелинейных системах	30	3	8	4	15
2.	Раздел 2. Параметрический анализ химических систем	92	6	20	16	50
2.1	Технология проведения однопараметрического анализа	20	1	5	4	10
2.2	Технология проведения двухпараметрического анализа	20	1	5	4	10
2.3	Примеры параметрического анализа реакционных систем	52	4	10	8	30
3.	Раздел 3. Детерминированный хаос в химических системах	66	6	6	8	46
3.1	Хаотические режимы в химических системах	27	3	–	4	20
3.2	Теория управления хаосом	39	3	6	4	26
	ИТОГО	216	17	34	34	131
	Экзамен	36				
	ИТОГО	252				

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Бифуркации в химических системах

1.1. Основные понятия качественной теории дифференциальных уравнений.

Общий вид макроскопических моделей химических процессов. Фазовые портреты систем. Основные элементы фазовых портретов двумерных систем: траектории, неподвижные точки, предельные циклы. Методы исследования типа неподвижных точек двумерных систем. Матрица Якоби, её след и собственные числа. Методика исследования двумерных систем в полярных координатах.

1.2. Основные понятия теории бифуркаций.

Понятие бифуркации. Локальные и нелокальные бифуркации. Основные виды бифуркаций, наблюдаемых в реакционных системах. Математическая модель реакции каталитического окисления СО как пример двумерной нелинейной системы с бифуркацией седло-узел. Математическая модель реакционной системы «брюсселятор» как пример двумерной нелинейной системы с бифуркацией Андронова-Хопфа. Бифуркационная память систем и типы её проявления.

1.3. Сложные бифуркации в двумерных нелинейных системах.

Математическая модель ферментативного процесса с субстратным ингибированием как пример двумерной нелинейной системы с двумя последовательными бифуркациями седло-узел. Бифуркации в нелинейных системах, заданных в полярных координатах. Бифуркация рождения двух предельных циклов. Бифуркация седло-узел со скачком в режим релаксационных автоколебаний.

Раздел 2. Параметрический анализ химических систем

2.1. Технология проведения однопараметрического анализа.

Общая методика анализа стационарных состояний и определения точек бифуркаций. Признаки бифуркаций. Методика обнаружения в системе бифуркации седло-узел. Методика обнаружения в системе бифуркации Андронова-Хопфа. Бифуркационные диаграммы. Триггер и гистерезис в модели ферментативного процесса с субстратным ингибированием.

2.2. Технология проведения двухпараметрического анализа.

Параметрические портреты. Линии бифуркаций: линия кратности и линия нейтральности. Методики их построения. Алгоритмы продолжения по параметру. Точка трёхкратного равновесия системы. Анализ взаимного расположения линий кратности и нейтральности и выявление параметрических областей различных режимов динамического поведения химических систем.

2.3. Примеры параметрического анализа реакционных систем.

Автокаталитический триггер в модели адсорбции вещества на катализаторе. Модель каталитического окисления СО. Гетерогенно-каталитическая система с буферной стадией. Термокинетические модели гетерогенных реакций. Модель с учётом процессов окисления и восстановления поверхности катализатора в ходе реакции каталитического окисления СО.

Раздел 3. Детерминированный хаос в химических системах

3.1. Хаотические режимы в химических системах.

Понятие детерминированного хаоса. Примеры хаотического поведения в химических системах. Характерные особенности поведения систем с детерминированным хаосом. Странные аттракторы. Переход к хаосу через каскад бифуркаций удвоения периода в дискретных отображениях. Кластерная модель кристаллизации малорастворимых веществ как пример системы с каскадом бифуркаций удвоения периода. Переход к хаосу в модели Рёсслера. Странный аттрактор в модели процесса получения фосфорной кислоты в реакторе с рециклом. Показатели Ляпунова и методика выявления с их помощью хаотических режимов.

3.2. Теория управления хаосом.

Понятие стабилизации хаотического поведения динамических систем. Способы управления хаосом. Управление хаосом без обратной связи. Подавление хаоса в колебательной химической реакции. Подавление хаоса в процессах кристаллизации малорастворимых веществ. Управление хаосом с обратной связью. Алгоритм пропорциональной обратной связи. Требования, предъявляемые к системе, для применения алгоритма пропорциональной обратной связи. Понятие диапазона управления. Влияние величины диапазона управления на возможность стабилизации хаоса, длительность переходного периода и качество стабилизации. Стабилизация циклов периода 1 и 2 в логистическом отображении. Использование алгоритма пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями в процессах кристаллизации малорастворимых веществ. Управление хаосом в реакции Белоусова–Жаботинского.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	Знать:			
1	теоретические основы бифуркационного анализа	+	+	
2	технология проведения однопараметрического и двухпараметрического анализа реакционных систем		+	
3	типы хаотического поведения в химических системах			+
4	способы управления хаосом			+
	Уметь:			
5	прогнозировать и анализировать возможные качественные изменения в системах	+	+	+

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
6	проводить однопараметрический и двухпараметрический анализ химических систем			+	
7	выявлять различные режимы функционирования химических систем и прогнозировать их поведение на основе анализа математических моделей		+	+	+
8	стабилизировать хаотический режим с помощью алгоритма пропорциональной обратной связи				+
	Владеть:				
9	методологией проведения бифуркационного анализа		+	+	
10	навыками выявления возможных сценариев эволюции химических систем по их параметрическим портретам			+	
11	методологией управления хаосом с обратной связью				+
12	практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции химических систем		+	+	+
13	навыками визуализации результатов прогнозирования		+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:					
14	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	+
15	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-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	+	+	+
16	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	+	+	+
17	ПК-4. Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	+	+	+
18	ПК-4. Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств		+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

№	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1.1	Методы исследования типа неподвижных точек двумерных систем. Матрица Якоби, её след и собственные числа.	2
2	1.1	Методика исследования двумерных систем в полярных координатах.	1
3	1.2	Основные виды бифуркаций, наблюдаемых в реакционных системах.	3
4	1.3	Математическая модель ферментативного процесса с субстратным ингибированием.	1
5	1.3	Бифуркации в нелинейных системах, заданных в полярных координатах.	3
6	2.1	Технология проведения однопараметрического анализа.	4
7	2.2	Параметрические портреты и методики их построения.	2
8	2.2	Методика выявления параметрических областей различных режимов поведения химических систем.	2
9	2.3	Автокаталитический триггер в модели адсорбции вещества на катализаторе.	1
10	2.3	Реакция каталитического окисления СО.	1
11	2.3	Гетерогенно-каталитическая система с буферной стадией.	2
12	2.3	Термокинетические модели гетерогенных реакций.	2
13	2.3	Модель с учётом процессов окисления и восстановления поверхности катализатора в ходе реакции каталитического окисления СО.	2
14	3.1	Примеры хаотического поведения в химических системах. Странные аттракторы.	1
15	3.1	Переход к хаосу через каскад бифуркаций удвоения периода в дискретных отображениях.	2
16	3.1	Показатели Ляпунова и методика выявления с их помощью хаотических режимов.	1
17	3.2	Способы управления хаосом.	2
18	3.2	Стабилизация циклов периода 1 и 2 в логистическом отображении с использованием алгоритма пропорциональной обратной связи.	2
		ИТОГО	34

6.2. Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «Бифуркационный анализ химических систем», а также способствует выработке практических навыков использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции химических систем и визуализации результатов прогнозирования. Лабораторные работы охватывают все разделы дисциплины. В практикум входит 6 работ, выполнение каждой работы оценивается 3 баллами (всего – 18 баллов).

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1	1.3	Проведение вычислительных экспериментов по исследованию бифуркации рождения двух предельных циклов.	4

№	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
2	1.3	Проведение вычислительных экспериментов по исследованию бифуркации седло-узел со скачком в режим релаксационных автоколебаний.	4
3	2.1	Проведение вычислительных экспериментов по однопараметрическому исследованию качественных изменений в модели ферментативного процесса с субстратным ингибированием.	5
4	2.2	Построение параметрического портрета модели ферментативного процесса с субстратным ингибированием и выявление параметрических областей различных режимов протекания процесса.	5
5	2.3	Проведение вычислительных экспериментов по двухпараметрическому исследованию качественных изменений в модели адсорбции вещества на катализаторе с буферной стадией, выявление параметрических областей различных режимов протекания процесса и визуализация результатов прогнозирования поведения системы в различных параметрических областях.	10
6	3.2	Компьютерная реализация алгоритма пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями в логистическом отображении. Проведение вычислительных экспериментов по исследованию влияния величины диапазона управления на возможность стабилизации хаоса, длительность переходного периода и качество стабилизации.	6
		ИТОГО	34

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы;
- подготовку отчётов по лабораторным работам;
- подготовку к защите отчётов (устным опросам) по лабораторным работам;
- подготовку к выполнению контрольных работ;
- подготовку к сдаче экзамена;

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

(РАЗДЕЛ ВЫПОЛНЕН В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ)

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение лабораторных работ (максимальная оценка 18 баллов, по 3 балла за каждую из 6 работ), защиту отчётов по

лабораторным работам (максимальная оценка 24 балла, по 4 балла за каждый из 6 отчётов), выполнение контрольных работ (максимальная оценка 18 баллов, 10 баллов за работу № 1 и 8 баллов за работу № 2) и итогового контроля в форме экзамена (максимальная оценка 40 баллов).

8.1. Примерная тематика реферативно-аналитической работы

Реферативно-аналитическая работа рабочей программой дисциплины не предусмотрена.

8.2. Описание оценочных средств для текущего контроля освоения дисциплины

8.2.1. Описание заданий для лабораторных работ

Для текущего контроля предусмотрено выполнение 6 лабораторных работ, выполнение каждой работы оценивается 3 баллами (максимальная оценка 18 баллов). Темы работ и соответствие работ разделам дисциплины представлены в разделе 6.2. Ниже представлены подробное описание заданий и примеры вариантов заданий.

Работа № 1.

Задана система уравнений в полярных координатах:

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = r[\alpha - k_2 - (r - k_1)^2] \\ \frac{d\varphi}{dt} = k_3 \end{cases}$$

Требуется исследовать расчётно-графическим способом поведение системы в зависимости от значений α . Построить фазовые портреты системы (не менее 6), подобрав для них значения α таким образом, чтобы показать основные этапы эволюции поведения изучаемой системы. При этом значения α рекомендуется выбирать таким образом, чтобы радиусы отображаемых предельных циклов можно было определить точно. Начальные условия для траекторий, их количество, шаг Δt и масштаб графиков подобрать таким образом, чтобы тип и основные характеристики отображаемых структур были очевидны. Для численного решения использовать явную схему Эйлера.

Примеры вариантов работы:

Вариант	k_1	k_2	k_3
1	1,3	-0,7	1,2
2	1,4	0	-0,8
3	0,9	0,3	-1,4

При выдаче задания вариант генерируется автоматически с помощью специальной программы.

Работа № 2.

Задана система уравнений в полярных координатах:

$$\begin{cases} \frac{dr}{dt} = r(k_1 - r) \\ \frac{d\varphi}{dt} = \alpha - k_2 - k_3 \sin(\varphi + k_4\pi) \end{cases}$$

Требуется исследовать расчётно-графическим способом поведение системы в зависимости от значений α (в заданном диапазоне). Построить фазовые портреты системы (не менее 8), подобрав для них значения α таким образом, чтобы показать основные этапы эволюции поведения изучаемой системы. Для выбранных значений α , при которых в системе существует предельный цикл, дополнительно к фазовому портрету построить временные зависимости $x(t)$, $y(t)$ с целью демонстрации бифуркационной памяти в системе. Начальные условия для

траекторий, их количество, шаг Δt и масштаб графиков подобрать таким образом, чтобы тип и основные характеристики отображаемых структур были очевидны; при этом на графиках временных зависимостей $x(t)$, $y(t)$ должны отчётливо прослеживаться особенности колебаний. Для численного решения использовать явную схему Эйлера.

Примеры вариантов работы:

Вариант	k_1	k_2	k_3	k_4	Диапазон α
1	0,8	-0,5	1,2	1/4	$\geq k_2$
2	1,2	0,5	0,7	2/5	$\geq k_2$
3	1,6	0	1,5	-1/6	$\leq k_2$

При выдаче задания вариант генерируется автоматически с помощью специальной программы.

Работа № 3.

В реакторе идеального смешения непрерывного действия протекает ферментативный процесс по схеме:



где E – фермент (прикрепляется неподвижно на сетке), S – субстрат (подаётся протоком), ES , SES – промежуточные комплексы, P – продукт ферментативного синтеза. Математическая модель процесса имеет вид:

$$\frac{dS}{dt} = S_0 D - SD - W, \quad \frac{dP}{dt} = -PD + W, \quad W = \frac{kE_0 S}{K_S + S + K_i S^2},$$

где S_0 – концентрация субстрата в питающем потоке, E_0 – начальная концентрация фермента, D – скорость разбавления (величина, обратная времени пребывания), K_i – константа субстратного ингибирования.

Требуется провести однопараметрическое исследование качественных изменений в модели расчётно-графическим способом. Управляющий параметр для исследования (S_0 или D) выбрать по собственному усмотрению. Построить бифуркационную диаграмму зависимости стационарных состояний в системе от выбранного управляющего параметра таким образом, чтобы триггер и гистерезис, наблюдаемые в модели, были представлены объективно и отчётливо. Для численного решения системы использовать явную схему Эйлера. Диапазон варьирования значений выбранного управляющего параметра, шаг Δt и масштаб диаграммы подобрать самостоятельно исходя из соображения качественного, убедительного и полноценного представления результата исследования.

Примеры вариантов работы:

Вариант	S_0 (при выборе D в качестве варьируемого параметра)	D (при выборе S_0 в качестве варьируемого параметра)	k	E_0	K_S	K_i
1	14	0,2	6,5	1	1	0,5
2	10	0,2	5,4	0,7	0,6	0,5
3	12	0,04	0,9	1,1	0,75	0,5

Работа № 4.

Рассматривается математическая модель из задания № 3.

Требуется провести двухпараметрическое исследование качественных изменений системы в координатной плоскости параметров (D , S_0) расчётно-графическим способом. Построить параметрический портрет системы таким образом, чтобы на линии кратности была отчётливо видна точка трёхкратного равновесия системы. Отобразить на параметрическом портрете диапазон варьирования управляющего параметра из задания № 3 (при этом масштаб графика подобрать таким образом, чтобы этот диапазон был очевидным).

Продемонстрировать с помощью фазовых портретов различные режимы протекания процесса в разных параметрических областях (выбор начальных условий для траекторий и их количества сделать исходя из соображения отчётливой демонстрации количества и типа неподвижных точек, наблюдаемых в той или иной параметрической области). Пары значений D

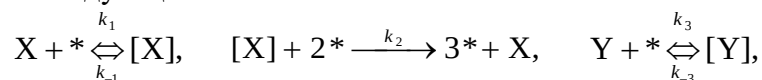
и S_0 для построения фазовых портретов выбрать самостоятельно с помощью параметрического портрета. Количество требуемых фазовых портретов определить самостоятельно исходя из соображения полноценного представления возможных режимов поведения системы в разных параметрических областях и наблюдаемых в системе бифуркаций. На каждом фазовом портрете в обязательном порядке отметить:

- прямую неподвижных точек, соответствующую уравнению $\bar{P} = S_0 - \bar{S}$;
- неподвижные точки.

На параметрическом портрете обозначить точки, соответствующие всем построенным фазовым портретам. Для численного решения системы использовать явную схему Эйлера. Шаг Δt и масштаб графиков подобрать самостоятельно исходя из соображения качественного, убедительного и полноценного представления результата исследования.

Работа № 5.

Рассматривается процесс, в котором вещества X и Y адсорбируются на поверхность катализатора согласно следующей кинетической схеме:



где * – «свободное место» на поверхности катализатора; X, Y – вещества в газовой фазе; [X], [Y] – вещества X и Y, адсорбированные на поверхности катализатора.

Если температура и давление газовой фазы постоянны, то кинетическая модель процесса имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 z - k_{-1} x - k_2 z^2 x, \quad \frac{dy}{dt} = k_3 z - k_{-3} y,$$

где x , y – поверхностные концентрации веществ X и Y, отнесённые к максимальному количеству свободных мест (т.е. нормированные от 0 до 1); z – нормированная концентрация свободных мест, причём: $z = 1 - x - y$.

Требуется провести двухпараметрическое исследование качественных изменений системы в координатной плоскости параметров (k_{-1}, k_1) расчётно-графическим способом. Построить параметрический портрет системы, отобразив на нём линии кратности и нейтральности.

Продемонстрировать с помощью фазовых портретов различные режимы протекания процесса в разных параметрических областях (выбор начальных условий для траекторий и их количества сделать исходя из соображения отчётливой демонстрации всех структур, наблюдаемых в той или иной параметрической области). Пары значений k_1 и k_{-1} для построения фазовых портретов выбрать самостоятельно с помощью параметрического портрета. Количество требуемых фазовых портретов определить самостоятельно исходя из соображения полноценного представления возможных режимов поведения системы в разных параметрических областях и наблюдаемых в системе бифуркаций. На каждом фазовом портрете в обязательном порядке отметить:

- прямую $y = 1 - x$, ограничивающую область физического смысла фазового портрета;
- прямую неподвижных точек, соответствующую уравнению $\bar{y} = (1 - \bar{x})k_3 / (k_3 + k_{-3})$;
- неподвижные точки.

На параметрическом портрете обозначить точки, соответствующие всем построенным фазовым портретам. Для численного решения системы использовать явную схему Эйлера. Шаг Δt и масштаб графиков подобрать самостоятельно исходя из соображения качественного, убедительного и полноценного представления результата исследования.

Примеры вариантов работы:

Вариант	k_2	k_3	k_{-3}
1	1,5	0,003	0,003
2	1,4	0,007	0,007
3	1,5	0,007	0,005

Работа № 6.

Заданы дискретное логистическое отображение $x_{j+1} = f(\alpha, x_j)$ и интервал допустимых значений управляющего параметра α .

Требуется реализовать управление хаотическим режимом с помощью алгоритма пропорциональной обратной связи при значении управляющего параметра α_0 , соответствующем правой границе заданного интервала. Начальное условие x_0 задать по собственному усмотрению с точностью до 0,1.

Провести вычислительные эксперименты по исследованию влияния величины диапазона управления на возможность стабилизации хаоса, длительность переходного периода и качество стабилизации. Результаты исследования отразить с помощью следующих точечных графиков:

- зависимость $x_j = f(j)$ без стабилизации хаотического режима;
- зависимость $x_j = f(j)$ со стабилизацией хаотического режима в неустойчивой неподвижной точке $\bar{x}_2(\alpha_0)$ для каждого выбранного значения величины диапазона управления;
- график управления системой $\alpha = f(j)$ для каждого выбранного значения величины диапазона управления.

Значения величины диапазона управления при проведении исследования выбирать самостоятельно исходя из соображения качественного, убедительного и полноценного представления результатов исследования.

Примеры вариантов работы:

Вариант	Отображение	интервал α
1	$x_{j+1} = \frac{1}{2} \alpha x_j (1 - \sqrt{x_j})$	$\alpha \in [0; 13,5]$
2	$x_{j+1} = \frac{1}{3} \alpha x_j (1 - \sqrt{x_j})$	$\alpha \in [0; 20,25]$
3	$x_{j+1} = \frac{2}{9} \alpha x_j (1 - \sqrt[3]{x_j})$	$\alpha \in [0; 42,6]$

8.2.2. Требования к отчётам по лабораторным работам

Выполнение каждой лабораторной работы завершается написанием отчёта и его защитой. Каждый отчёт должен составляться именно для своего индивидуального варианта задания, учитывать его особенности и вывод требуемых соотношений; изложение общих теоретических вопросов в отчётах не требуется. Индивидуальную теоретическую подготовку к проведению вычислительных экспериментов в отчётах требуется выполнять исключительно в рукописном варианте.

На защите отчётов по лабораторным работам студент должен уметь рассказать о результатах исследования заданных систем по графикам и уметь сопоставить эти результаты с теоретическим анализом, проведённым при подготовке отчёта, а также знать все определения и общие теоретические положения соответствующего раздела дисциплины. Контрольные вопросы студенту во время защиты отчётов преподаватель может задавать по собственному усмотрению, руководствуясь целью выявления глубины понимания студентом проработанного теоретического материала и качества выполненного компьютерного исследования.

8.2.3. Темы и примеры контрольных работ

Для текущего контроля предусмотрено **2 контрольные работы**. Максимальная оценка за контрольные работы составляет 18 баллов (10 баллов за работу № 1 и 8 баллов за работу № 2).

Контрольная работа № 1

Контрольная работа № 1 предусматривает оценку теоретических знаний по разделам № 1 и № 2. Тема работы: «**Бифуркации в химических системах и их параметрический анализ**».

Контрольная работа № 1 состоит из **2 контрольных вопросов**, каждый из которых оценивается **5 баллами**.

Примеры вариантов контрольной работы № 1

Вариант № 1

1. Методика обнаружения в системе бифуркации седло-узел.
2. Описание бифуркации рождения двух предельных циклов.

Вариант № 2

1. Общий вид макроскопических моделей химических процессов. Фазовые портреты систем.
2. Модель с учётом процессов окисления и восстановления поверхности катализатора в ходе реакции каталитического окисления СО. Бифуркации, наблюдаемые в модели.

Вариант № 3

1. Линия кратности на параметрическом портрете. Методика построения.
2. Математическая модель реакционной системы «брюсселятор» как пример двумерной нелинейной системы с бифуркацией Андронова-Хопфа.

Контрольная работа № 2

Контрольная работа № 2 предусматривает оценку знаний, умений и навыков по разделу № 3. Тема работы: «**Детерминированный хаос в химических системах**».

Контрольная работа № 2 состоит из **2 контрольных вопросов**, каждый из которых оценивается **4 баллами**.

Примеры вариантов контрольной работы № 2

Вариант № 1

1. Характерные особенности поведения систем с детерминированным хаосом.
2. Использование алгоритма пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями в процессах кристаллизации малорастворимых веществ.

Вариант № 2

1. Способы управления хаосом.
2. Странный аттрактор в модели процесса получения фосфорной кислоты в реакторе с рециклом.

Вариант № 3

1. Показатели Ляпунова и методика выявления с их помощью хаотических режимов.
2. Подавление хаоса в колебательной химической реакции.

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

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит 2 вопроса. Максимальная оценка за каждый вопрос – 20 баллов.

1. Общий вид макроскопических моделей химических процессов. Фазовые портреты систем. Привести примеры.
2. Основные элементы фазовых портретов двумерных систем: траектории, неподвижные точки, предельные циклы. Привести примеры.
3. Методы исследования типа неподвижных точек двумерных систем. Привести примеры.
4. Матрица Якоби, её след и собственные числа.

5. Методика исследования двумерных систем в полярных координатах. Привести примеры.
6. Понятие бифуркации. Локальные и нелокальные бифуркации. Основные виды бифуркаций, наблюдаемых в реакционных системах.
7. Математическая модель реакции каталитического окисления СО как пример двумерной нелинейной системы с бифуркацией седло-узел.
8. Математическая модель реакционной системы «брюсселятор» как пример двумерной нелинейной системы с бифуркацией Андронова-Хопфа.
9. Бифуркационная память систем и типы её проявления. Привести примеры.
10. Математическая модель ферментативного процесса с субстратным ингибированием как пример двумерной нелинейной системы с двумя последовательными бифуркациями седло-узел.
11. Бифуркация рождения двух предельных циклов.
12. Бифуркация седло-узел со скачком в режим релаксационных автоколебаний.
13. Общая методика анализа стационарных состояний химических систем и определения точек бифуркаций. Привести примеры.
14. Методика обнаружения в системе бифуркации седло-узел. Признак бифуркации.
15. Методика обнаружения в системе бифуркации Андронова-Хопфа. Признак бифуркации.
16. Бифуркационные диаграммы химических систем. Привести примеры.
17. Триггер и гистерезис в модели ферментативного процесса с субстратным ингибированием.
18. Параметрические портреты химических систем. Линии бифуркаций: линия кратности и линия нейтральности. Анализ их взаимного расположения. Точка трёхкратного равновесия системы.
19. Линия кратности на параметрическом портрете. Методика построения.
20. Линия нейтральности на параметрическом портрете. Методика построения.
21. Алгоритмы продолжения по параметру при построении параметрических портретов химических систем.
22. Методика выявления параметрических областей различных режимов динамического поведения химических систем.
23. Параметрический анализ модели ферментативного процесса с субстратным ингибированием.
24. Автокаталитический триггер в модели адсорбции вещества на катализаторе. Бифуркационная диаграмма модели.
25. Модель адсорбции вещества на катализаторе. Параметрический анализ модели.
26. Триггер в модели каталитического окисления СО. Бифуркационная диаграмма модели.
27. Модель каталитического окисления СО. Параметрический анализ модели.
28. Модель гетерогенно-каталитической системы с буферной стадией. Методика построения параметрического портрета.
29. Модель гетерогенно-каталитической системы с буферной стадией. Параметрический анализ модели.
30. Термокинетические модели гетерогенных реакций. Методика построения параметрического портрета.
31. Термокинетические модели гетерогенных реакций. Параметрический анализ модели.
32. Модель с учётом процессов окисления и восстановления поверхности катализатора в ходе реакции каталитического окисления СО. Методика построения параметрического портрета.
33. Модель с учётом процессов окисления и восстановления поверхности катализатора в ходе реакции каталитического окисления СО. Параметрический анализ модели.
34. Понятие детерминированного хаоса. Примеры хаотического поведения в химических системах.

35. Понятие детерминированного хаоса. Характерные особенности поведения систем с детерминированным хаосом.
36. Странные аттракторы. Привести примеры.
37. Переход к хаосу через каскад бифуркаций удвоения периода в дискретных отображениях.
38. Кластерная модель кристаллизации малорастворимых веществ как пример системы с каскадом бифуркаций удвоения периода.
39. Переход к хаосу в модели Ресслера.
40. Странный аттрактор в модели процесса получения фосфорной кислоты в реакторе с рециклом.
41. Показатели Ляпунова и методика выявления с их помощью хаотических режимов.
42. Показатели Ляпунова. Пример расчёта показателей Ляпунова для двумерной системы.
43. Понятие стабилизации хаотического поведения динамических систем. Привести примеры.
44. Способы управления хаосом. Краткое описание каждого способа.
45. Методика управления хаосом без обратной связи. Привести примеры.
46. Подавление хаоса в колебательной химической реакции.
47. Подавление хаоса в процессах кристаллизации малорастворимых веществ.
48. Методика управления хаосом с обратной связью. Привести примеры.
49. Управление хаосом с обратной связью. Алгоритм пропорциональной обратной связи. Требования, предъявляемые к системе, для применения алгоритма пропорциональной обратной связи.
50. Управление хаосом с обратной связью. Понятие диапазона управления. Влияние величины диапазона управления на возможность стабилизации хаоса, длительность переходного периода и качество стабилизации.
51. Управление хаосом с обратной связью. Стабилизация цикла периода 1 в логистическом отображении.
52. Управление хаосом с обратной связью. Стабилизация цикла периода 2 в логистическом отображении.
53. Использование алгоритма пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями в процессах кристаллизации малорастворимых веществ.
54. Использование алгоритма пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями в реакции Белоусова–Жаботинского.

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

8.4. Структура и пример билета для экзамена

Экзамен по дисциплине «Бифуркационный анализ химических систем» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для экзамена состоит из 2 вопросов, относящихся к различным разделам.

Пример билета для экзамена:

"Утверждаю"
Зав. каф. КХТП
Глебов М.Б.

Министерство науки и высшего образования РФ
Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева
Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии
Магистерская программа –
«Кибернетика для инновационных технологий»

«__» ____ 20__ г.

БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

БИЛЕТ № 1

1. Бифуркационные диаграммы химических систем. Привести примеры.
2. Управление хаосом с обратной связью. Стабилизация цикла периода 2 в логистическом отображении.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Куркина Е.С. Курсовые задачи по синергетике. Методы поиска пространственно-временных структур : учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 98 с.
2. Кольцова Э.М., Гордеев Л.С., Третьяков Ю.Д., Вертегел А.А. Термодинамика необратимых процессов и нелинейная динамика : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. 430 с. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://urait.ru/book/termodinamika-neobratimyh-processov-i-nelineynaya-dinamika-455051> (дата обращения: 15.05.2025).

Б) Дополнительная литература:

1. Кольцова Э.М., Гордеев Л.С. Синергетика в химии и химической технологии : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. 295 с. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://urait.ru/book/sinergetika-v-himii-i-himicheskoy-tehnologii-454395> (дата обращения: 15.05.2025).
2. Куркина Е.С. Автоколебания, структуры и волны в химических системах. Методы математического моделирования. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 219 с.
3. Пригожин И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках : пер. с англ. – М.: Наука. Физматлит, 1985. 327 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

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

Научно-технические журналы:

- Журнал «International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering». ISSN: 0218-1274.
- Журнал «Nonlinear Dynamics and Systems Theory». ISSN: 1562-8353.
- Журнал «International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation». ISSN: 1565-1339.
- Журнал «Regular and Chaotic Dynamics». ISSN: 1560-3547.

- Журнал «Chaos (Woodbury, N.Y.)». ISSN: 1054-1500.
- Журнал «Journal of Computational and Nonlinear Dynamics». ISSN: 1555-1423.
- Журнал «Nonlinear Oscillations». ISSN: 1536-0059.
- Журнал «Nonlinearity». ISSN: 0951-7715.
- Журнал «Нелинейная динамика». ISSN: 1816-448X.
- Журнал «Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика». ISSN: 0869-6632.

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- демонстрационные программы, создающие визуализацию бифуркаций Андронова–Хопфа, удвоения периода, странного аттрактора Лоренца;
- банк вариантов контрольных работ – 20;
- банк вариантов заданий для лабораторных работ – 20;
- банк билетов для экзамена – 30.

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 составляет на 01.01.2025 года 1 563 142 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 проводятся в форме лекций, практических и лабораторных занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий вместимостью не менее 15 человек, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Компьютерный класс, насчитывающий не менее 10 посадочных мест, с предустановленным лицензионным программным обеспечением (Windows, Microsoft Excel) и выходом в Интернет для выполнения лабораторных работ.

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

11.2. Учебно-наглядные пособия

Учебные пособия по дисциплине.

Электронный раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Демонстрационные программы, создающие визуализацию бифуркаций Андронова–Хопфа, удвоения периода, странного аттрактора Лоренца.

Примеры выполнения лабораторных работ.

11.3. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: инструкции по технике безопасности в компьютерном классе; методические рекомендации к практическим и лабораторным занятиям; учебные пособия; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде; раздаточный материал к разделам дисциплины; справочные материалы.

На кафедре КХТП используются электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; электронные конспекты лекций; учебно-методические разработки в электронном виде; демонстрационные программы; специализированное программное обеспечение; справочные материалы в электронном виде.

11.4. Перечень лицензионного программного обеспечения

№	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Windows 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License, Номер лицензии 62795478	10	Бессрочно
2	Microsoft Office Standard 2013	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License, Номер лицензии 47837477	10	Бессрочно

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Бифуркации в химических системах	Знает: теоретические основы бифуркационного анализа. Умеет: прогнозировать и анализировать возможные качественные изменения в системах; выявлять различные режимы функционирования химических систем и прогнозировать их поведение на основе анализа математических моделей. Владеет: методологией проведения бифуркационного анализа; практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции химических систем; навыками визуализации результатов прогнозирования.	Оценка за лабораторные работы № 1, 2 и защиту отчётов по ним. Оценка на экзамене.
Раздел 2. Параметрический	Знает: теоретические основы бифуркационного анализа; технологию	Оценка за контрольную

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
анализ химических систем	проведения однопараметрического и двухпараметрического анализа реакционных систем. Умеет: прогнозировать и анализировать возможные качественные изменения в системах; проводить однопараметрический и двухпараметрический анализ химических систем; выявлять различные режимы функционирования химических систем и прогнозировать их поведение на основе анализа математических моделей. Владеет: методологией проведения бифуркационного анализа; навыками выявления возможных сценариев эволюции химических систем по их параметрическим портретам; практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции химических систем; навыками визуализации результатов прогнозирования.	работу № 1. Оценка за лабораторные работы № 3–5 и защиту отчётов по ним. Оценка на экзамене.
Раздел 3. Детерминированный хаос в химических системах	Знает: типы хаотического поведения в химических системах; способы управления хаосом. Умеет: прогнозировать и анализировать возможные качественные изменения в системах; выявлять различные режимы функционирования химических систем и прогнозировать их поведение на основе анализа математических моделей; стабилизировать хаотический режим с помощью алгоритма пропорциональной обратной связи. Владеет: методологией управления хаосом с обратной связью; практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции химических систем; навыками визуализации результатов прогнозирования.	Оценка за контрольную работу № 2. Оценка за лабораторную работу № 6 и защиту отчёта по ней. Оценка на экзамене.

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 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
«Бифуркационный анализ химических систем»
основной образовательной программы**

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
2		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
3		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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы нелинейной динамики в химии и химической технологии»

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена к.т.н., доцентом, доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов А.С. Скичко.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол № 8.

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, магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий», рекомендациями методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И.Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина «Методы нелинейной динамики в химии и химической технологии» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана и является элективной дисциплиной. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики, вычислительной математики, физической химии, общей химической технологии, моделирования процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, а также численных методов решения уравнений математических моделей химико-технологических процессов.

Цель дисциплины – приобретение теоретических знаний и практических навыков использования современных методов анализа нелинейных систем для решения широкого круга задач исследования и прогнозирования тенденций протекания процессов различной природы, включая процессы химической технологии, биотехнологии и нанотехнологии.

Задачи дисциплины:

- обучение теоретическим основам и методам неравновесной термодинамики, качественной теории дифференциальных уравнений, бифуркационного анализа;
- обучение теоретическим методам и практическим навыкам исследования устойчивости протекания химико-технологических, биотехнологических и нанотехнологических процессов;
- обучение практическим навыкам анализа причин возникновения диссипативных структур;
- обучение практическим навыкам исследования возможных путей эволюции химико-технологических, биотехнологических и нанотехнологических процессов на основе их математических моделей;
- ознакомление с основами теории хаоса.

Дисциплина «Методы нелинейной динамики в химии и химической технологии» преподаётся во 2 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 **профессиональных компетенций и индикаторов 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	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 – 6)
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	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
			ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования	

характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).		материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности	С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
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-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	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 – 6)

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- теоретические основы качественной теории дифференциальных уравнений, теории бифуркаций, теории хаоса, неравновесной термодинамики;
- типы неподвижных точек и методы их определения;
- основные типы бифуркаций в нелинейных системах;
- сценарии возникновения в нелинейных системах колебательных и хаотических режимов и их характерные особенности;
- методы термодинамического анализа открытых физико-химических систем.

Уметь:

- определять неподвижные точки систем и их тип;
- строить фазовые портреты двумерных систем;
- проводить термодинамический анализ открытых физико-химических систем с целью выявления дестабилизирующих процессов;
- прогнозировать эволюцию физико-химических систем на основе их математических моделей.

Владеть:

- методами исследования устойчивости линейных и нелинейных систем;
- практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции физико-химических систем;
- навыками визуализации результатов прогнозирования;
- навыками выявления возможных сценариев эволюции систем по их глобальным фазовым портретам.

3. ОБЪЁМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр.ч.
Общая трудоемкость дисциплины	4	144	108
Контактная работа – аудиторные занятия:	1,41	51	38,25
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0,94	34	25,5
Самостоятельная работа	2,59	93	69,75
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	2,59	93	69,75
Вид итогового контроля:	зачёт с оценкой		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лек-ции	ПЗ	СР
1.	Раздел 1. Качественная теория дифференциальных уравнений	46	5	11	30
1.1	Неподвижные точки систем	16	2	4	10
1.2	Нелинейные двумерные системы	8	1	2	5
1.3	Автоколебательные режимы в нелинейных системах	8	1	2	5
1.4	Нелинейные системы с множественностью устойчивых стационарных состояний	14	1	3	10
2.	Раздел 2. Элементы бифуркационного анализа и теории хаоса	62	8	14	40
2.1	Бифуркации	15	2	3	10
2.2	Основные типы бифуркаций в двумерных системах	16	2	4	10
2.3	Бифуркация удвоения периода	16	2	4	10
2.4	Странные аттракторы	9	1	2	6
2.5	Элементы теории хаоса	6	1	1	4
3.	Раздел 3. Основы термодинамики неравновесных процессов	36	4	9	23
3.1	Введение в неравновесную термодинамику	7	1	1	5
3.2	Термодинамика линейных необратимых систем	9	1	3	5
3.3	Термодинамика нелинейных необратимых систем	20	2	5	13
	ИТОГО	144	17	34	93

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Качественная теория дифференциальных уравнений

1.1. Неподвижные точки систем.

Понятия фазового пространства, фазовой точки, траектории, фазового портрета системы, неподвижной точки. Типы устойчивости неподвижных точек. Неподвижные точки одномерных систем и методика их анализа. Линейные и нелинейные двумерные системы. Типы неподвижных точек линейных двумерных систем. Первый метод Ляпунова. Примеры исследования устойчивости линейных двумерных систем.

1.2. Нелинейные двумерные системы.

Особенности нелинейных систем. Понятия глобального фазового портрета нелинейной системы и локального фазового портрета в окрестности неподвижной точки. Методика линеаризации нелинейных систем. Теорема о линеаризации. Примеры исследования устойчивости нелинейных систем.

1.3. Автоколебательные режимы в нелинейных системах.

Понятие предельного цикла. Типы предельных циклов. Отличия предельных циклов от нейтрально устойчивых неподвижных точек. Методы исследования систем с предельными циклами. Теорема Пуанкаре–Бенедиксона. Примеры анализа систем с предельными циклами. Структурная устойчивость систем. Понятие флуктуации.

1.4. Нелинейные системы с множественностью устойчивых стационарных состояний.

Особенности нелинейных систем с множественностью устойчивых стационарных состояний. Понятие границы областей притяжения устойчивых стационарных состояний системы. Понятие погрешности задания начальных условий физических систем. Возможности

прогнозирования эволюции систем с множественностью устойчивых стационарных состояний с учётом внешних случайных воздействий на систему. Модель ферментативного процесса с субстратным ингибированием, как пример нелинейной системы с множественностью устойчивых стационарных состояний. Подробный анализ данной системы.

Раздел 2. Элементы бифуркационного анализа и теории хаоса

2.1. Бифуркации.

Структура математических моделей систем. Понятие управляющих параметров. Виды воздействия изменения значений управляющих параметров на систему. Понятия бифуркации и точки бифуркации. Бифуркационный анализ модели ферментативного процесса с субстратным ингибированием. Бифуркационная память систем. Прогнозирование возможных бифуркаций в системах.

2.2. Основные типы бифуркаций в двумерных системах.

Бифуркация седло-узел. Неподвижная точка седло-узел. Характерные особенности поведения систем при бифуркации седло-узел. Бифуркация седло-узел с жёсткой и мягкой потерей устойчивости. Примеры анализа систем, в которых наблюдается бифуркация седло-узел. Бифуркация Андронова-Хопфа. Характерные особенности поведения систем при бифуркации Андронова-Хопфа. Примеры анализа систем, в которых наблюдается бифуркация Андронова-Хопфа.

2.3. Бифуркация удвоения периода.

Непрерывные и дискретные системы. Логистическое уравнение Ферхюльста в непрерывной и дискретной формах. Анализ области допустимых значений параметра логистического уравнения. Неподвижные точки логистического уравнения в непрерывной форме. Неподвижные точки дискретного логистического уравнения. Методика анализа устойчивости неподвижных точек дискретных систем. Возникновение циклов в дискретных системах. Бифуркация удвоения периода. Хаос как результат бесконечного усложнения порядка системы. Теория универсальности Фейгенбаума. Связь каскада бифуркаций удвоения периода с накоплением расчётной ошибки в явных разностных схемах. Философия восприятия мира как непрерывной и как дискретной системы.

2.4. Странные аттракторы.

Понятие странного аттрактора. Понятие невозможности прогнозирования поведения систем со странными аттракторами. Система Лоренца. Неподвижные точки системы Лоренца. Эволюция в системе Лоренца. Аттрактор Лоренца. Система Рёсслера. Эволюция в системе Рёсслера. Аттрактор Рёсслера. Характерные особенности эволюции систем со странными аттракторами.

2.5. Элементы теории хаоса.

Понятие детерминированного хаоса. Характерные особенности поведения систем с детерминированным хаосом. Демонстрация хаотических режимов в нелинейных системах.

Раздел 3. Основы термодинамики неравновесных процессов

3.1. Введение в неравновесную термодинамику.

Краткий исторический очерк о развитии основ научного представления о необратимых процессах. Открытые и закрытые системы. Термодинамические потоки и движущие силы. Производство энтропии – диссипативная функция термодинамических систем. Свойства диссипативной функции.

3.2. Термодинамика линейных необратимых систем.

Соотношения взаимности Онзагера. Явление термодиффузии и диффузионный термоэффект. Устойчивость стационарных состояний термодинамических систем. Принцип минимума производства энтропии. Функция Ляпунова. Второй метод Ляпунова. Однозначность эволюции линейных необратимых систем.

3.3. Термодинамика нелинейных необратимых систем.

Неоднозначность эволюции нелинейных необратимых систем. Функция Ляпунова для систем вдали от равновесия. Принципы термодинамического анализа. Химические и биохимические осцилляторы. Задачи о тепловой и концентрационной устойчивости химико-технологических и биотехнологических процессов.

Обобщение математического и термодинамического подходов к исследованию поведения и эволюции систем.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	Знать:				
1	теоретические основы качественной теории дифференциальных уравнений, теории бифуркаций, теории хаоса, неравновесной термодинамики		+	+	+
2	типы неподвижных точек и методы их определения		+		
3	основные типы бифуркаций в нелинейных системах			+	
4	сценарии возникновения в нелинейных системах колебательных и хаотических режимов и их характерные особенности		+	+	
5	методы термодинамического анализа открытых физико-химических систем				+
	Уметь:				
6	определять неподвижные точки систем и их тип		+		
7	строить фазовые портреты двумерных систем		+	+	
8	проводить термодинамический анализ открытых физико-химических систем с целью выявления дестабилизирующих процессов				+
9	прогнозировать эволюцию физико-химических систем на основе их математических моделей		+	+	+
	Владеть:				
10	методами исследования устойчивости линейных и нелинейных систем		+	+	+
11	практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции физико-химических систем		+	+	
12	навыками визуализации результатов прогнозирования		+	+	
13	навыками выявления возможных сценариев эволюции систем по их глобальным фазовым портретам			+	
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:					
	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК			
14	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	
15	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	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 освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
16	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2. Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий		+	+
		ПК-4.3. Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	+	+	

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

№	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1.1	Неподвижные точки и их устойчивость. Первый метод Ляпунова. Решение задач. Построение фазовых портретов двумерных линейных систем.	4
2	1.2	Линеаризация нелинейных систем. Решение задач.	2
3	1.3	Исследование систем с предельными циклами.	2
4	1.4	Построение фазовых портретов двумерных нелинейных систем с множественностью устойчивых стационарных состояний.	3
5	2.1	Бифуркации в нелинейных системах с управляющими параметрами. Построение фазовых портретов двумерных нелинейных систем, в которых наблюдаются бифуркации. Анализ проявления бифуркационной памяти.	3
6	2.2	Исследование систем с типовыми бифуркациями (седло-узел и Андронова-Хопфа). Решение задач. Построение и анализ фазовых портретов систем.	4
7	2.3	Исследование устойчивости неподвижных точек одномерного логистического отображения. Исследование циклов одномерного логистического отображения. Построение и анализ параметрического портрета исследуемой системы.	4
8	2.4	Исследование системы Лоренца. Построение и анализ двумерных проекций фазового портрета системы, отражающих эволюцию в системе.	2
9	2.5	Анализ характерных особенностей поведения систем с детерминированным хаосом на конкретных примерах.	1
10	3.1	Открытые термодинамические системы. Потoki и движущие силы (примеры, взаимосвязь). Диссипативная функция термодинамических систем (структура, свойства).	1

№	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
11	3.2	Термодинамика линейных необратимых систем. Соотношения взаимности Онзагера (примеры). Устойчивость стационарных состояний. Принцип минимума производства энтропии (доказательство).	2
12	3.2	Применение принципа минимума производства энтропии в задачах химической технологии.	1
13	3.3	Термодинамика нелинейных необратимых систем. Применение методов термодинамического анализа для исследования устойчивости реакционных схем.	3
14	3.3	Исследование автокаталитических биохимических реакций. Примеры решения задач о тепловой и концентрационной устойчивости химико-технологического процесса.	2
		ИТОГО	34

6.2. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку к контрольным работам;
- выполнение расчётно-графических работ согласно индивидуальному заданию;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы;
- подготовку к сдаче зачёта по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимую для изучения 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 учебной 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

(РАЗДЕЛ ВЫПОЛНЕН В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ)

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 30 баллов), расчётно-графических работ (максимальная оценка 30 баллов) и итогового контроля в форме зачёта с оценкой (максимальная оценка 40 баллов).

8.1. Темы и примеры контрольных работ для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 2 контрольные работы. Максимальная оценка за контрольные работы составляет 30 баллов (17 баллов за работу № 1 и 13 баллов за работу № 2).

Контрольная работа № 1

Контрольная работа № 1 предусматривает оценку знаний, умений и навыков по разделам № 1 и № 2. Тема работы: «**Определение типа неподвижных точек; исследование систем с предельными циклами; бифуркационный анализ систем**».

Контрольная работа № 1 состоит из **6 заданий**. Задание № 1 оценивается **2 баллами**, задания №№ 2–6 – **3 баллами** каждое.

Пример варианта контрольной работы № 1 (17 баллов)

Задание 1 (2 балла). В реакторе идеального смешения протекает реакция $2X \rightarrow C$. Для уравнения, описывающего данный процесс, найти неподвижные точки и определить их тип ($b = 4$, $x_0 = 8$, $k = 1$):

$$\frac{dx}{dt} = -kx^2 + b(x_0 - x).$$

Задание 2 (3 балла). Для системы уравнений, описывающей обратимую реакцию в реакторе идеального смешения $2X \rightleftharpoons Y$, определить неподвижные точки и их тип ($k_1 = 1$, $k_{-1} = 1$, $b = 2$, $x_0 = 6$):

$$\frac{dx}{dt} = -k_1x^2 + b(x_0 - x) + k_{-1}y, \quad \frac{dy}{dt} = k_1x^2 - k_{-1}y - by.$$

Задание 3 (3 балла). Для заданной системы уравнений определить неподвижные точки и их тип:

$$\frac{dx}{dt} = 2xy - 4x \quad \frac{dy}{dt} = y - 2x.$$

Задание 4 (3 балла). Для заданной системы уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{2}{3}x + \frac{3}{4}y + \frac{3}{8}x(x^2 + y^2) \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{3}{4}x - \frac{2}{3}y + \frac{3}{8}y(x^2 + y^2)$$

- найти неподвижную точку и определить её тип,
- используя полярные координаты, найти предельный цикл,
- построить глобальный фазовый портрет.

Задание 5 (3 балла). Провести бифуркационный анализ заданной системы:

$$\frac{dx}{dt} = 2x^2 - 3\alpha x + \alpha^2 + \frac{1}{2}$$

- найти неподвижные точки и определить их тип при разных значениях α ,
- определить бифуркационные значения α .

Задание 6 (3 балла). Провести бифуркационный анализ заданной системы:

$$x_{j+1} = \frac{3}{28}\alpha x_j(1 - x_j^7)$$

- найти неподвижные точки,
- для каждой неподвижной точки определить интервал значений параметра α , соответствующий области устойчивости точки.

Контрольная работа № 2

Контрольная работа № 2 предусматривает оценку знаний, умений и навыков по разделу № 3. Тема работы: «**Методы термодинамического анализа в задачах химической технологии и при анализе биохимических процессов**».

Контрольная работа № 2 состоит из **3 заданий**. Задание № 1 оценивается **5 баллами**, задание № 2 – **2 баллами**, задание № 3 – **6 баллами**.

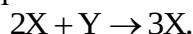
Пример варианта контрольной работы № 2 (13 баллов)

Задание 1 (5 баллов). В некоторой линейной системе действует 4 силы, причём X_1 , X_2 , X_3 – векторы, а X_4 – скаляр. Система находится в состоянии стационарности 2-го порядка. Для заданной системы:

- записать условия стационарности,

- записать соотношения Онзагера,
- вывести формулу для производства энтропии,
- сформулировать и доказать необходимое условие теоремы о минимуме производства энтропии.

Задание 2 (2 балла). В проточном реакторе с мешалкой протекает химическая реакция:



Производная термодинамической функции Ляпунова (для случая $\delta y = 0$) имеет вид:

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t} \rho \delta^2 S dV = R v_q x \left(\frac{\delta x}{x} \right)^2 - R v_q x_0 \left(\frac{\delta x_0}{x_0} \right)^2 + K_T F_s \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 + \rho C_T v_q \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 + \\ + V \left(-2wR \left(\frac{\delta x}{x} \right)^2 - (E + 2Q)w \frac{\delta x}{x} \frac{\delta T}{T^2} - \frac{E Q w}{RT^2} \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 \right).$$

Определить условие на время пребывания в реакторе, выполнение которого гарантирует концентрационную устойчивость режима по компоненту X. При решении принять, что тепловая устойчивость системы выполняется, и пульсации во входном потоке отсутствуют: $\delta x_0 = \delta T = 0$.

Задание 3 (6 баллов). Вывести выражение для производной термодинамической функции Ляпунова для системы из задания № 2 (при выводе учитывать только $\delta x, \delta T$) и на его основе провести термодинамический анализ системы (анализ стабилизирующих и дестабилизирующих эффектов).

8.2. Темы и примеры расчётно-графических работ для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 3 расчётно-графические работы (РГР), в которых используется сквозная нумерация заданий. Максимальная оценка за РГР составляет 30 баллов (10 баллов за РГР № 1, 11 баллов за РГР № 2 и 9 баллов за РГР № 3).

РГР № 1

РГР № 1 предусматривает оценку знаний, умений и навыков по разделу № 1. Тема РГР: «Исследование линейных и нелинейных систем: расчёт с помощью численных методов, построение фазовых портретов и сопоставление с результатами теоретического анализа».

РГР № 1 состоит из 4 заданий. Задания №№ 1–3 оцениваются 2 баллами каждое, задание № 4 – 4 баллами.

Пример варианта РГР № 1 (10 баллов)

Общие требования к заданиям № 1, 2, 3. Для заданной системы уравнений:

- найти неподвижную точку;
- построить фазовый портрет, подобрав начальные условия, шаг по времени Δt и масштаб таким образом, чтобы тип точки и её координаты на графике были очевидны (чтобы грамотно показать неустойчивую координату в задании № 2, начальные условия следует задавать как можно ближе к ней);
- для одного из выбранных начальных условий построить динамику системы (т.е., зависимости $x(t)$ и $y(t)$) таким образом, чтобы поведение системы в окрестности неподвижной точки и её координаты были очевидны.

Задание 1 (2 балла). В реакторе идеального смешения непрерывного действия протекают реакции по схеме: $X \xrightarrow{k_1} Y \xrightarrow{k_2} P$. Математическая модель реактора имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\tau}(x_0 - x) - k_1 x, \quad \frac{dy}{dt} = -\frac{1}{\tau}y + k_1 x - k_2 y.$$

Значения параметров процесса: $x_0 = 1.7$, $k_1 = 1.2$, $k_2 = 0.5$, $\tau = 2$.

Для решения использовать явную схему Эйлера. Количество начальных условий, необходимых для построения фазового портрета: не менее 8.

Задание 2 (2 балла). Система уравнений: $\frac{dx}{dt} = -2x + 2.4$; $\frac{dy}{dt} = 2.5y - 5$.

Для решения использовать явную схему Эйлера. Количество начальных условий, необходимых для построения фазового портрета: не менее 8.

Задание 3 (2 балла). Математическая модель процесса кристаллизации в реакторе имеет вид:

$$\frac{d\mu_0}{dt} = k\mu_1 - b + q, \quad \frac{d\mu_1}{dt} = \mu_0(\eta_1 - \eta_2) + d,$$

где μ_0 – нулевой момент функции распределения кристаллов по размерам, характеризующий общее количество частиц в единице объёма реактора; μ_1 – первый момент функции распределения, характеризующий суммарный линейный размер кристаллов; k – константа скорости образования зародышей; b – скорость отбора зародышей; q – скорость пополнения крупными частицами; η_1 – скорость роста кристаллов; η_2 – скорость растворения кристаллов; d – суммарный линейный размер поступающих частиц. Значения параметров процесса:

$$k = 2.5, \quad b = 6.5, \quad q = 1.5, \quad \eta_1 = 1, \quad \eta_2 = 2, \quad d = 2.5.$$

Для решения использовать явную схему Эйлера. Количество начальных условий: не менее 2.

Задание 4 (4 балла). В реакторе идеального смешения непрерывного действия протекает ферментативный процесс по схеме:



где E – фермент (прикрепляется неподвижно на сетке), S – субстрат (подаётся потоком), ES , SES – промежуточные комплексы, P – продукт ферментативного синтеза. Первая реакция описывает преобразование субстрата в продукт через образование промежуточного фермент-субстратного комплекса; вторая реакция – пассивацию фермент-субстратного комплекса при избытке субстрата (т.е. субстратное ингибирование ферментативного процесса). Математическая модель процесса при условии постоянства суммарной концентрации всех форм фермента имеет вид:

$$\frac{dS}{dt} = S_0 D - SD - W, \quad \frac{dP}{dt} = -PD + W, \quad W = \frac{kE_0 S}{K_s + S + K_i S^2},$$

где S_0 – концентрация субстрата в питающем потоке, E_0 – начальная концентрация фермента, D – скорость разбавления (величина, обратная времени пребывания), K_i – константа субстратного ингибирования. Значения параметров процесса:

$$S_0 = 14, \quad D = 0.2, \quad k = 6.5, \quad E_0 = 1, \quad K_s = 1, \quad K_i = 0.5.$$

Требуется: найти неподвижные точки (для этого допускается использование численных методов) и построить глобальный фазовый портрет системы, подобрав начальные условия, шаг по времени Δt и масштаб таким образом, чтобы тип точек и их координаты на графике были очевидны. Для численного решения системы использовать явную схему Эйлера.

Количество начальных условий, необходимых для построения фазового портрета: не менее 12.

РГР № 2

РГР № 2 предусматривает оценку знаний, умений и навыков по разделу № 2. Тема РГР: «Исследование систем с типовыми бифуркациями (седло-узел и Андронова-Хопфа): расчёт с помощью численных методов, построение фазовых портретов и сопоставление с результатами теоретического анализа».

РГР № 2 состоит из 2 заданий (№ 5 и № 6 в общем списке заданий для РГР). Задание № 5 оценивается 8 баллами, задание № 6 – 3 баллами.

Пример варианта РГР № 2 (11 баллов)

Задание 5 (8 баллов). Провести бифуркационный анализ системы уравнений из задания № 4 (работа № 1), выбрав в качестве управляющего параметра D . С помощью численного исследования системы определить оба бифуркационных значения α_0 с точностью до 4-го знака после запятой и построить для каждой бифуркации фазовые портреты при: а) $D = \alpha_0 - \Delta\alpha$,

б) $D = \alpha_0$, в) $D = \alpha_0 + \Delta\alpha$. Итого 6 фазовых портретов. $\Delta\alpha$ выбрать самостоятельно, исходя из требования качественной демонстрации на фазовых портретах бифуркационной памяти изучаемой системы. Для численного решения системы использовать явную схему Эйлера. Количество начальных условий, необходимых для построения каждого фазового портрета: не менее 12.

Провести аналогичный бифуркационный анализ системы, выбрав в качестве управляющего параметра S_0 .

Задание 6 (3 балла). Для системы уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = 3\alpha x - 15y - 2x(x^2 + y^2), \quad \frac{dy}{dt} = 15x + 3\alpha y - 2y(x^2 + y^2)$$

при следующих значениях управляющего параметра α : а) -6 , б) -1.5 , в) 1.5 , г) 6 , найти неподвижные точки; построить фазовые портреты, подобрав начальные условия (для а – не менее 3; для б – не менее 2; для в и г – внутри и вне предельного цикла), шаг Δt и масштаб таким образом, чтобы типы точек, их координаты, а также тип предельного цикла и его радиус (в случаях в и г) были очевидны. Для решения использовать явную схему Эйлера.

РГР № 3

РГР № 3 предусматривает оценку знаний, умений и навыков по разделу № 2. Тема РГР: «Исследование систем с хаотическими режимами (система Лоренца, одномерное отображение): расчёт с помощью численных методов, построение фазовых и параметрических портретов и сопоставление с результатами теоретического анализа».

РГР № 3 состоит из 2 заданий (№ 7 и № 8 в общем списке заданий для РГР). Задание № 7 оценивается 3 баллами, задание № 8 – 6 баллами.

Пример варианта РГР № 3 (9 баллов)

Задание 7 (3 балла). Для системы уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = \sigma y - \sigma x, \quad \frac{dy}{dt} = rx - y - xz, \quad \frac{dz}{dt} = xy - bz$$

Построить проекцию фазового портрета на координатную плоскость (x, z) при следующих значениях управляющих параметров и начальных условиях: $\sigma = 10$, $b = 2.7$,

а) $r = 0$, $x_0 = 5$, $y_0 = 5$, $z_0 = \bar{z} + dz_0$, $dz_0 = 5, 15, 30, 50$ (на одном графике);

б) $r = 5$, $x_0 = \bar{x}$, $y_0 = \bar{y}$, $z_0 = \bar{z} + dz_0$, $dz_0 = 5, 15, 30, 50$ (на одном графике);

в) $r = 5$, $x_0 = \bar{x}$, $y_0 = \bar{y}$, $z_0 = \bar{z} + dz_0$, $dz_0 = 9.1, 9.2$ (на одном графике);

г) $r = 15$, $x_0 = \bar{x}$, $y_0 = \bar{y}$, $z_0 = \bar{z} + dz_0$, $dz_0 = 5, 15, 40, 70$ (на одном графике);

д) $r = 15$, $x_0 = \bar{x}$, $y_0 = \bar{y}$, $z_0 = \bar{z} + dz_0$, $dz_0 = 11.8, 11.81, 11.82, 11.83$ (на разных графиках);

е) $r = 25$, $x_0 = \bar{x}$, $y_0 = \bar{y}$, $z_0 = \bar{z} + dz_0$, $dz_0 = 28$.

Шаг по времени $\Delta t = 0,002$. Использовать полуявную схему Эйлера. Количество расчётных точек – не менее 8000.

Задание 8 (6 баллов). Отображение: $x_{j+1} = \frac{1}{2}\alpha x_j(1 - \sqrt{x_j})$; $\alpha \in [0, 13.5]$.

1. Исследовать расчётно-графическим способом поведение функции $x_j = f(j)$ в зависимости от значений α . Построить точечные графики зависимости $x_j = f(j)$ (не менее 14), подобрав для них значения α таким образом, чтобы показать основные этапы эволюции поведения изучаемой системы. В качестве начального условия выбрать $x_0 = 0.6$.

2. Построить параметрический портрет системы: график $\bar{x}_n = f(\alpha)$ для $\alpha \in [0, 13.5]$, рекомендуемый шаг по α – 0.05.

$\bar{x}_n$ – значения, которые может принимать зависимость $x_j = f(j)$ после установления в системе характерного поведения (т.е., после окончания периода разгона системы – приблизительно после 50–70 итераций). В случае если система имеет более одного конечного состояния при

определённом α , в качестве $\bar{x}_n$ следует использовать не менее 50 последовательных итераций (пропустив период разгона системы).

3. Определить с высокой точностью значение α , при котором происходит 2-е раздвоение (оно понадобится при оформлении отчёта).

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (зачёт с оценкой, 2 семестр)

Билет включает контрольные вопросы и задачи по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет содержит два контрольных вопроса и одну задачу. Максимальная оценка за каждый контрольный вопрос – **15 баллов**. Максимальная оценка за задачу – **10 баллов**. Максимальное количество баллов за зачёт с оценкой – **40 баллов**.

Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины:

1. Открытые и закрытые системы. Термодинамические потоки и движущие силы. Диссипативная функция термодинамических систем (структура, свойства).
2. Соотношения взаимности Онзагера. Понятие линейной системы. Принцип Кюри. Принцип симметрии феноменологических коэффициентов. Эффекты Соре и Дюфура.
3. Стационарные состояния. Понятие устойчивости стационарного состояния системы. Понятие функции Ляпунова. Второй метод Ляпунова исследования устойчивости систем. Принцип минимума производства энтропии для систем, близких к равновесию.
4. Доказательство принципа минимума производства энтропии.
5. Понятие систем, удалённых от равновесия. Понятие функции Ляпунова. Второй метод Ляпунова исследования устойчивости систем. Функция Ляпунова для систем, удалённых от равновесия, и её производная. Избыточное производство энтропии. Методика выявления процессов, стабилизирующих и дестабилизирующих систему.
6. Методика анализа устойчивости химических реакторов. Изменение избытка энтропии за счёт теплообмена и массообмена реактора с окружающей средой. Методика вывода избыточного производства энтропии химического реактора.
7. Термодинамический анализ устойчивости химико-технологического процесса.
8. Термодинамический анализ концентрационной устойчивости автокаталитических биохимических процессов.
9. Анализ устойчивости процессов кристаллизации малорастворимых и хорошо растворимых веществ.
10. Понятие фазовой плоскости, фазовой траектории, неподвижной точки. Устойчивые и неустойчивые точки в пространстве $n = 1$ (построить примеры).
11. Классификация неподвижных точек для линейной дифференциальной системы при $n = 2$.
12. Неподвижные точки – узел (устойчивый и неустойчивый) и седло: сравнение исследования по 1-му методу Ляпунова с решением системы.
13. Неподвижные точки – фокус (устойчивый и неустойчивый) и центр: сравнение исследования по 1-му методу Ляпунова с решением системы.
14. Теорема о качественной эквивалентности решений нелинейной системы уравнений и её линейного приближения в окрестности неподвижной точки. Методика линеаризации нелинейных систем уравнений.
15. Понятие предельного цикла. Пример на построение предельного цикла. Типы предельных циклов. Понятие структурной устойчивости колебаний в системах с предельными циклами. Привести примеры.
16. Колебания в двумерном пространстве. Структурная устойчивость колебаний. Примеры математических моделей, описывающих колебания.
17. Нелинейные системы с множественностью устойчивых стационарных состояний (на примерах математических моделей биотехнологии).

18. Понятия бифуркации, бифуркационного параметра. Бифуркация типа "седло-узел". Бифуркационная память.
19. Понятия бифуркации, бифуркационного параметра. Бифуркация Андронова–Хопфа. Необходимый признак этого типа бифуркации.
20. Порядок и хаос в одномерных отображениях. Универсальность Фейгенбаума.
21. Неподвижные точки дискретного логистического уравнения. Устойчивость неподвижных точек. Графическая иллюстрация устойчивости неподвижных точек.
22. Понятие странного аттрактора. Эволюция в системе Лоренца.

Примеры задач для итогового контроля освоения дисциплины:

1. Определить неподвижные точки и их тип для системы уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = 3x - x^2 \quad \frac{dy}{dt} = xy - 2y$$

2. Для заданного уравнения найти неподвижные точки и определить их тип:

$$\frac{dx}{dt} = x^2(x + 2)(x - 2)$$

3. Для заданной системы уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = 14.7x + 4.2y - 1.2x(x^2 + y^2) \quad \frac{dy}{dt} = -4.2x + 14.7y - 1.2y(x^2 + y^2)$$

1) найти неподвижную точку и определить её тип, 2) используя полярные координаты, найти предельный цикл, 3) построить глобальный фазовый портрет.

4. Провести бифуркационный анализ заданной системы:

$$x_{j+1} = 0.16\alpha x_j(1 - x_j^{25})$$

1) найти неподвижные точки, 2) для каждой неподвижной точки определить интервал значений параметра α , соответствующий области устойчивости точки.

5. Провести бифуркационный анализ заданной системы:

$$\frac{dx}{dt} = x^2 + x + \alpha x + 1$$

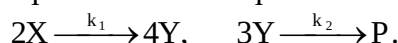
1) найти неподвижные точки и определить их тип при разных значениях α , 2) определить бифуркационные значения α .

6. Провести бифуркационный анализ заданной системы:

$$\frac{dx}{dt} = 3x^2 + 4\alpha + 6, \quad \frac{dy}{dt} = 2x + 5y$$

1) найти неподвижные точки, 2) исследовать их тип методом линеаризации нелинейной системы, 3) построить фазовые портреты системы при разных значениях параметра α , 4) указать бифуркационное значение α , тип бифуркации и признак данного типа бифуркации.

7. В периодическом реакторе с мешалкой протекают химические реакции по схеме:



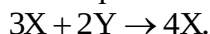
Производная термодинамической функции Ляпунова (при $\delta T = 0$) имеет вид:

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t} \rho \delta^2 S dV = VR \left(4w_1 \left(\frac{\delta x}{x} \right)^2 - 8w_1 \frac{\delta x}{x} \frac{\delta y}{y} + 9w_2 \left(\frac{\delta y}{y} \right)^2 \right).$$

Определить условие в виде соотношения между скоростями стадий реакционной схемы (w_1/w_2), выполнение которого гарантирует концентрационную устойчивость режима в реакторе.

8. В некоторой линейной системе действует 4 силы, причём X_1, X_2 – векторы, а X_3, X_4 – скаляры. Система находится в состоянии стационарности 2-го порядка. Для заданной системы: 1) записать условия стационарности, 2) записать соотношения Онзагера, 3) вывести формулу для производства энтропии, 4) сформулировать и доказать необходимое условие теоремы о минимуме производства энтропии.

9. В проточном реакторе с мешалкой протекает химическая реакция:



Производная термодинамической функции Ляпунова (при $\delta y = 0$) имеет вид:

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t} \rho \delta^2 S dV = R v_q x \left(\frac{\delta x}{x} \right)^2 - R v_q x_0 \left(\frac{\delta x_0}{x_0} \right)^2 + K_T F_s \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 + \rho C_T v_q \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 + \\ + V \left(-3wR \left(\frac{\delta x}{x} \right)^2 - (E + 3Q)w \frac{\delta x}{x} \frac{\delta T}{T^2} - \frac{E Q w}{R T^2} \left(\frac{\delta T}{T} \right)^2 \right).$$

Определить условие на время пребывания в реакторе, выполнение которого гарантирует концентрационную устойчивость режима по компоненту X. При решении принять, что тепловая устойчивость системы выполняется, и пульсации во входном потоке отсутствуют: $\delta x_0 = \delta T = 0$.

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

8.4. Структура и пример билета для зачёта с оценкой

Зачёт с оценкой по дисциплине «Методы нелинейной динамики в химии и химической технологии» проводится во 2 семестре и включает контрольные вопросы и задачи по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для зачёта с оценкой состоит из 2 вопросов и 1 задачи, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для зачёта с оценкой:

"Утверждаю"	Министерство науки и высшего образования РФ
Зав. каф. КХТП	Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева
Глебов М.Б.	Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
	технологии, нефтехимии и биотехнологии
	Магистерская программа –
	«Кибернетика для инновационных технологий»

«__» ____ 20__ г.

МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ В ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

БИЛЕТ № 1

1. Открытые и закрытые системы. Термодинамические потоки и движущие силы. Диссипативная функция термодинамических систем (структура, свойства). (15 баллов).

2. Понятия бифуркации, бифуркационного параметра. Бифуркация типа "седло-узел". Бифуркационная память. (15 баллов).

3. Определить неподвижные точки и их тип для системы уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = 3x - x^2 \quad \frac{dy}{dt} = xy - 2y. \quad (10 \text{ баллов}).$$

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Кольцова Э.М., Гордеев Л.С. Синергетика в химии и химической технологии : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. 295 с. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://urait.ru/book/sinergetika-v-himii-i-himicheskoy-tehnologii-454395> (дата обращения: 15.05.2025).

2. Кольцова Э.М., Гордеев Л.С., Третьяков Ю.Д., Вертегел А.А. Термодинамика необратимых процессов и нелинейная динамика : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2020. 430 с. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://urait.ru/book/termodinamika-neobratimyh-processov-i-nelineynaya-dinamika-455051> (дата обращения: 15.05.2025).

Б) Дополнительная литература:

1. Куркина Е.С. Автоколебания, структуры и волны в химических системах. Методы математического моделирования. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. 219 с.

2. Куркина Е.С. Курсовые задачи по синергетике. Методы поиска пространственно-временных структур : учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 98 с.

3. Пригожин И. От существующего к возникающему: время и сложность в физических науках : пер. с англ. – М.: Наука. Физматлит, 1985. 327 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

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

Научно-технические журналы:

– Журнал «International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering». ISSN: 0218-1274.

– Журнал «Nonlinear Dynamics and Systems Theory». ISSN: 1562-8353.

– Журнал «International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation». ISSN: 1565-1339.

– Журнал «Chaos, Solitons & Fractals». ISSN: 0960-0779.

– Журнал «Regular and Chaotic Dynamics». ISSN: 1560-3547.

– Журнал «Chaos (Woodbury, N.Y.)». ISSN: 1054-1500.

– Журнал «Journal of Computational and Nonlinear Dynamics». ISSN: 1555-1423.

– Журнал «Nonlinear Oscillations». ISSN: 1536-0059.

– Журнал «Nonlinearity». ISSN: 0951-7715.

– Журнал «Нелинейная динамика». ISSN: 1816-448X.

– Журнал «Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика». ISSN: 0869-6632.

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- конспекты лекций в формате *.pdf – 9;
- компьютерные презентации интерактивных лекций – 9, (общее число слайдов – 178);
- демонстрационные программы, создающие визуализацию бифуркаций Андронова–Хопфа, удвоения периода, странного аттрактора Лоренца;
- демонстрационные расчётные модули в EXCEL для ознакомления с методологией выполнения наиболее сложных заданий в РГР (задания № 5 и № 8);
- банк вариантов контрольных работ – 30;
- банк вариантов РГР – 20;
- банк билетов для зачёта с оценкой – 30.

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн.

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 составляет на 01.01.2025 года 1 563 142 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 проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий вместимостью не менее 10 человек, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Компьютерный класс, насчитывающий не менее 10 посадочных мест, с предустановленным лицензионным программным обеспечением (Windows, Microsoft Excel) и выходом в Интернет для выполнения и контроля РГР.

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

11.2. Учебно-наглядные пособия

Учебные пособия по дисциплине.

Электронный раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Демонстрационные программы, создающие визуализацию бифуркаций Андронова–Хопфа, удвоения периода, странного аттрактора Лоренца.

Демонстрационные расчётные модули в EXCEL для ознакомления с методологией выполнения наиболее сложных заданий в РГР.

Примеры выполнения РГР.

11.3. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: инструкции по технике безопасности в компьютерном классе; методические рекомендации к практическим занятиям; учебные пособия; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде; раздаточный материал к разделам дисциплины; справочные материалы.

На кафедре КХТП используются электронные образовательные ресурсы: электронные

презентации к разделам лекционного курса; электронные конспекты лекций; учебно-методические разработки в электронном виде; демонстрационные программы; специализированное программное обеспечение; справочные материалы в электронном виде.

11.4. Перечень лицензионного программного обеспечения

№	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Windows 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License, Номер лицензии 62795478	10	Бессрочно
2	Micosoft Office Standard 2013	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License, Номер лицензии 47837477	10	Бессрочно

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Качественная теория дифференциальных уравнений	Знает: теоретические основы качественной теории дифференциальных уравнений, теории бифуркаций, теории хаоса, неравновесной термодинамики; типы неподвижных точек и методы их определения; сценарии возникновения в нелинейных системах колебательных и хаотических режимов и их характерные особенности. Умеет: определять неподвижные точки систем и их тип; строить фазовые портреты двумерных систем; прогнозировать эволюцию физико-химических систем на основе их математических моделей. Владеет: методами исследования устойчивости линейных и нелинейных систем; практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции физико-химических систем; навыками визуализации результатов прогнозирования.	Оценка за контрольную работу № 1, задания № 1–4 (наивысший балл – 11). Оценка за РГР № 1 (наивысший балл – 10). Оценка на зачёте.
Раздел 2. Элементы бифуркационного анализа и теории хаоса	Знает: теоретические основы качественной теории дифференциальных уравнений, теории бифуркаций, теории хаоса, неравновесной термодинамики; основные типы бифуркаций в нелинейных системах; сценарии возникновения в нелинейных системах колебательных и хаотических режимов и их характерные особенности. Умеет: строить фазовые портреты двумерных систем; прогнозировать эволюцию физико-химических систем на основе их математических моделей.	Оценка за контрольную работу № 1, задания № 5, 6 (наивысший балл – 6). Оценка за РГР № 2 и 3 (наивысший балл – 20). Оценка на зачёте.

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	Владеет: методами исследования устойчивости линейных и нелинейных систем; практическими навыками использования современных вычислительных технологий для прогнозирования эволюции физико-химических систем; навыками визуализации результатов прогнозирования; навыками выявления возможных сценариев эволюции систем по их глобальным фазовым портретам.	
Раздел 3. Основы термодинамики неравновесных процессов	Знает: теоретические основы качественной теории дифференциальных уравнений, теории бифуркаций, теории хаоса, неравновесной термодинамики; методы термодинамического анализа открытых физико-химических систем. Умеет: проводить термодинамический анализ открытых физико-химических систем с целью выявления дестабилизирующих процессов; прогнозировать эволюцию физико-химических систем на основе их математических моделей. Владеет: методами исследования устойчивости линейных и нелинейных систем.	Оценка за контрольную работу № 2 (наивысший балл – 13). Оценка на зачёте.

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 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
«Методы нелинейной динамики в химии и химической технологии»
основной образовательной программы**

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
2		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
3		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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Моделирование технологических и природных систем»

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация : магистр

Москва 2025

Программа составлена: профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов (КХТП), д.т.н. Дороховым И.Н.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
кибернетики химико-технологических процессов

«12» мая 2025 г., протокол № 8.

1. ЦЕЛИ 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, магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий», рекомендациями методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина «Моделирование технологических и природных систем» относится к обязательной части, блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики, вычислительной математики, макрокинетики химических процессов, процессов и аппаратов химической технологии, общей и неорганической химии, органической химии.

Цель дисциплины – научить магистранта активно применять методы моделирования технологических и природных систем для решения конкретных задач при обработке экспериментальных данных, оптимизации, прогнозировании свойств, моделировании и управлении химико-технологическими процессами, создании новых технологий и технологических аппаратов.

Задачи дисциплины: сформировать у магистранта способности самостоятельно применять методы моделирования технологических и природных систем для решения конкретных инженерно-технологических проблем.

Дисциплина «Моделирование технологических и природных систем» в соответствии с учебным планом подготовки магистра преподается в первом 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

2.1 Универсальные компетенции выпускников 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, вырабатывать стратегию действий	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.
Разработка и реализация проектов	УК-2 – Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 – Знает теоретические основы и основные принципы управления проектами УК-2.2 – Умеет организовать реализацию и обеспечить контроль за ходом выполнения проекта УК-2.3 – Владеет навыками управления инновационными проектами в производственной сфере
Командная работа и лидерство	УК-3 – Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1 – Знает социально-психологические аспекты управления в организации. УК-3.2 – Умеет вырабатывать командную стратегию для достижения поставленной цели в решении профессиональных задач. УК-3.3 – Владеет навыками

Наименование категории (группы) УК	Код и наименование УК	Код и наименование индикатора достижения УК
		конструктивного взаимодействия в команде, рефлексии своего поведения и лидерскими качествами.

2.2 Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Наименование категории (группы) ОПК	Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК
Научные исследования и разработки	ОПК-1 – Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок	ОПК-1.1 – Знает методологические основы научного знания, теоретические и эмпирические методы исследования. ОПК-1.2 – Умеет формулировать задачи научного исследования, использовать научно обоснованные методы их решения и представлять результаты научного исследования. ОПК-1.3 – Владеет приёмами разработки планов и программ проведения научных исследований и технических разработок.
Профессиональная методология	ОПК-2 – Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты	ОПК-2.1 – Знает принципы работы основных приборов в инструментальных методах исследования. ОПК-2.2 – Умеет организовывать проведение экспериментов и испытаний. ОПК-2.3 – Владеет способами обработки полученных результатов и их использования в научном исследовании.
Инженерная и технологическая подготовка	ОПК-3 – Способен разрабатывать нормы выработки,	ОПК-3.1 – Знает технологические основы организации современных производств соответствующего

Наименование категории (группы) ОПК	Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК
	технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку.	профиля. ОПК-3.2 – Умеет контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку. ОПК-3.3 – Владеет навыками моделирования и оптимизации инновационных химико-технологических процессов соответствующего профиля.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

Знать:

- основные положения моделирования технологических и природных систем;
- базовые понятия систем искусственного интеллекта;
- основные методы представления знаний: системы продукции, семантические сети, фреймы, логические модели, нейронные сети;
- основные методы инженерии знаний: извлечение, приобретение и формирование знаний;
- основные характеристики, классификацию и методы разработки экспертных систем.

Уметь:

- применять методы моделирования технологических и природных систем для решения практических задач в химической технологии;
- создавать компьютерные программы, вычислительный процесс которых базируется на методах и средствах моделирования технологических и природных систем;

Владеть:

- концептуальными подходами к решению прикладных проблем с позиций моделирования технологических и природных систем;
- приемами построения генетических алгоритмов для решения прикладных задач в химической технологии.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад . ч.	Астр .ч.
Общая трудоемкость дисциплины	3	108	81
Контактная работа – аудиторные занятия:	0,94	34	25,5
Лекции	0,44	16	12
Практические занятия (ПЗ)	0,5	18	13,5
Самостоятельная работа	1,05	38	28,5
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	1,05	38	28,5
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего часов	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
	Введение	0,5	0,5		
	Раздел 1. Термодинамические основы моделирования технологических и природных систем.	33	6	5	11
1.1	Параметры и функция состояния.	3	0,5	0,5	1
1.2	Экстенсивные и интенсивные величины.	3	0,5	0,5	1
1.3	Полный дифференциал функции двух переменных.	3	0,5	0,5	1
1.4	Функции Пфаффа.	3	0,5	0,5	1
1.5	Однородные функции.	5	0,5	0,5	2
1.6	.Преобразования Лежандра.	3	0,5	0,5	1
1.7	Равновесный и неравновесный процесс.	3	0,5	0,5	1

1.8	Обратимый и необратимый процесс.	3	0,5	0,5	1
1.9	Тепловая и холодильная машина.	7	2	1	2
	Раздел 2. Моделирование неоднородных систем.	41	4.5	4.5	15
2.1	Нулевое, первое и второе начало термодинамики.	5	0,5	0,5	2
2.2	Термодинамические функции состояния.	5	0,5	0,5	2
2.3	Уравнения состояния.	5	0,5	0,5	2
2.4	Индуктивный и дедуктивный метод исследования.	3	0,5	0,5	1
2.5	Пространственно-неоднородные системы.	5	0,5	0,5	2
2.6	Обобщенный вид закона сохранения и превращения энергии..	5	0,5	0,5	2
2.7	Классы процессов, протекающих в неоднородных средах.	4	0,5	0,5	1
2.8	Парциальная энергия равновесной и неравновесной системы.	4	0,5	0,5	1
2.9.	Энергоперенос и энергопревращение.	5	0,5	0,5	2
	Раздел 3. Основные положения теории скалярных и векторных полей.	23	3.5	5.5	9
3.1.	Теория скалярного поля.	5.5	0,5	1	2
3.2	Теория векторного поля.	5.5	0,5	1	2
3.3	Вывод формул для термодинамических сил.	4.5	1	1.5	1
3.4	Связь между локальными и глобальными параметрами термодинамической системы.	3.5	0,5	1	2
3.5	Исключение диссипативных членов из уравнений баланса энергии.	4	1	1	2
	Раздел 4. Принципы моделирования произвольных форм движения.	10.5	1.5	3	3
4.1.	Универсальный показатель совершенства преобразования энергии.	3.5	0,5	1	1
4.2.	КПД установки преобразования энергии.	3.5	0,5	1	1
4.3.	Критерии подобия преобразования энергии.	3.5	0,5	1	1

	Экзамен	36			
	Всего часов	108	16	18	38

4.2. Содержание разделов дисциплины

Введение.

Системный подход и методы моделирования в методологии естествознания. Индуктивный и дедуктивный принцип научного исследования.

Структура курса. Учебная и ознакомительная литература.

Раздел 1. Термодинамические основы моделирования технологических и природных систем.

1.1. Параметры и функции состояния. Макроскопические параметры состояния. Внешние и внутренние параметры. Состояние системы. Функция состояния. Стационарное состояние. Равновесное состояние.

1.2. Экстенсивные и интенсивные величины. Изолированная система. Исходный постулат равновесной термодинамики. Уравнения состояния.

1.3. Полный дифференциал функции двух переменных. Полное и частное приращение функции. Графическое представление приращения функции. Необходимое и достаточное условие дифференцируемости функции.

1.4. Функции Пфаффа. Голономная форма функции Пфаффа. Неголономная функция Пфаффа.

1.5. Однородные функции. Однородная функция 1-го порядка. Однородная функция нулевого порядка. Связь между однородностью и экстенсивностью функции. Теорема Эйлера.

1.6. Преобразование Лежандра.

1.7. Равновесный и неравновесный процесс. Квазистатический процесс. Противоречивость понятия равновесного процесса. Диаграмма равновесного процесса. Цикл.

1.8. Обратимый и необратимый процесс. Примеры необратимых процессов.

1.9. Тепловая и холодильная машина. Цикл тепловой машины. Цикл Карно. Круговой цикл холодильной машины.

Раздел 2. Моделирование неоднородных систем.

2.1. Нулевое, первое и второе начало. Связь нулевого начала с температурой. Аналитическое выражение нулевого начала - закона сохранения энергии. Введение Клаузиусом энтропии. Полная теплота тела и понятие внутренней энергии. Природа теплоты.

2.2. Термодинамические функции состояния. Характеристические функции.

2.3. Уравнения состояния. Канонические, термические, калорические уравнения состояния. Общие условия равновесия.

2.4. Индуктивный и дедуктивный метод исследования. Утрата равновесной термодинамикой свой исключительности. Два основных постулата энергодинамики.

2.5. Пространственно неоднородные системы. Неаддитивность свойств неоднородных систем.

2.6. Обобщенный вид закона сохранения и превращения энергии. Особенность классификации сил в термодинамике. Понятие результирующей силы и результирующего перемещения. Классификация видов работ: упорядоченные, неупорядоченные, диссипативные.

2.7. Классы процессов, протекающих в неоднородных средах. Введение экстенсивных параметров пространственной неоднородности. Закон сохранения энергии неоднородной системы в виде математического тождества. Число независимых координат состояния неоднородной системы.

2.8. Парциальная энергия равновесной и неравновесной системы. Принцип аддитивности парциальных энергий для неоднородных систем. Соотношение Гиббса-Дюгема для неоднородных систем.

2.9. Энергоперенос и энергопревращение. Аналитические выражения упорядоченных и неупорядоченных работ в термостатических переменных.

Раздел 3. Основные положения теории скалярных и векторных полей.

3.1. Теория скалярного поля. Производная по направлению скалярного поля. Поверхность уровня скалярного поля. Градиент скалярного поля.

3.2. Теория векторного поля. Векторная линия. Дифференциальные уравнения векторных линий. Поток вектора через поверхность. Поток вектора через замкнутую поверхность. Дивергенция. Теорема Остроградского-Гаусса. Циркуляция векторного поля. Ротор векторного поля. Теорема Стокса. Потенциал векторного поля. Соленоидальное векторное поле.

3.3. Вывод формул для термодинамических сил. Закон сохранения энергии в форме Н.Умова. Термодинамические силы и потоки.

3.4. Связь между локальными и глобальными параметрами термодинамической системы.

3.5. Исключение диссипативных членов из уравнений баланса энергии неоднородной системы. Энергодинамическое обобщение 3-го закона Ньютона. Аналитические выражения движущих сил разнородных процессов.

Раздел 4. Принципы моделирования произвольных форм движения Единство процессов переноса и преобразования энергии.

4.1. Универсальный показатель совершенства преобразования энергии. Существо механизма преобразования энергии. Электрическая схема замещения энергопреобразующей системы.

4.2. КПД установки преобразования энергии. Антисимметрические соотношения взаимности для энергопревращения.

4.3. Критерии подобия процессов преобразования энергии. Холостой ход и короткое замыкание. Критерий добротности. Критерий нагрузки. Критерий энергопревращения.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	1	2	3	4
	Знать:				
1	- основные положения моделирования технологических и природных систем;	+	+	+	+
2	- базовые понятия термодинамических и природных систем;	+	+	+	+
3	- основные методы термодинамического анализа природных систем;	+	+	+	
4	- основы математического аппарата термодинамических систем;	+	+	+	+
5	- основные характеристики, классификацию и методы энергетического анализа природных систем;	+	+	+	+
	Уметь:				
6	- применять методы моделирования технологических и природных систем для решения практических задач в химической технологии;	+	+	+	+
7	- создавать компьютерные программы, вычислительный процесс которых базируется на методах и средствах моделирования технологических и природных систем;	+	+	+	+
	Владеть:				
8	- концептуальными подходами к решению прикладных проблем с позиций моделирования технологических и природных систем;	+	+	+	+
9	- приемами построения концептуальных и модельных схем анализа для решения прикладных задач в химической технологии.	+	+	+	+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие универсальные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

	Код и наименование УК	Код и наименование индикатора достижения УК	1	2	3	4
10	УК-1 – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	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.	+	+	+	+
11	УК-2 – Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 – Знает теоретические основы и основные принципы управления проектами УК-2.2 – Умеет организовать реализацию и обеспечить контроль за ходом выполнения проекта УК-2.3 – Владеет навыками управления инновационными проектами в производственной сфере	+	+	+	+
12	УК-3 – Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1 – Знает социально-психологические аспекты управления в организации. УК-3.2 – Умеет вырабатывать командную стратегию для достижения поставленной цели в решении профессиональных задач. УК-3.3 – Владеет навыками конструктивного взаимодействия в команде, рефлексии своего поведения и лидерскими качествами.	+	+	+	+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения

	Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК	1	2	3	4
13	ОПК-1 – Способен организовывать самостоятельную и коллективную научно-	ОПК-1.1 – Знает методологические основы научного знания, теоретические и	+	+	+	+

	исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок	эмпирические методы исследования. ОПК-1.2 – Умеет формулировать задачи научного исследования, использовать научно обоснованные методы их решения и представлять результаты научного исследования. ОПК-1.3 – Владеет приёмами разработки планов и программ проведения научных исследований и технических разработок.	+	+	+	+
14	ОПК-2 – Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты	ОПК-2.1 – Знает принципы работы основных приборов в инструментальных методах исследования. ОПК-2.2 – Умеет организовывать проведение экспериментов и испытаний. ОПК-2.3 – Владеет способами обработки полученных результатов и их использования в научном исследовании.	+	+	+	+
15	ОПК-3 – Способен разрабатывать нормы выработки, технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку.	ОПК-3.1 – Знает технологические основы организации современных производств соответствующего профиля. ОПК-3.2 – Умеет контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку. ОПК-3.3 – Владеет навыками моделирования и оптимизации инновационных химико-технологических процессов соответствующего профиля	+	+	+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических работ
1	1,2,3,4	Расчет механической силы в поступательном движении. (2 часа).
2		Расчет центробежной силы вращательного движения. (2 часа).
3	1,2,3,4	Расчет гравитационной силы.(2 часа).
4	1,2,3,4	Расчет электростатической силы. (2 часа).
5	1,2,3,4	Расчет термической силы.(2 часа).
6	1,2,3,4	Расчет гидродинамической силы. (2 часа).
7	1,2,3,4	Расчет коэффициента молекулярной диффузии. (2 часа).
8	1,2,3,4	Расчет движущей силы лучистого энергообмена. (2 часа).
9	1,2,3,4	Расчет химического сродства для гомогенной реакции. (2 часа).
		Итого: 18 часов

6.2. Лабораторные работы

Лабораторные работы не предусмотрены.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины;
- изучение рекомендованной литературы и работ с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимую для изучения 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 учебной 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

(РАЗДЕЛ ВЫПОЛНЕН В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ)

8.1. Темы и примеры контрольных работ для текущего контроля освоения дисциплины.

Для текущего контроля предусмотрена реферативно-аналитическая работа по рабочей программе дисциплины в количестве 3-х заданий. Максимальная оценка составляет 20 баллов за каждую работу.

РАЗДЕЛЫ 1 – 2.

Контрольная работа №1. Универсальность закона сохранения энергии
Максимальная оценка – 20 баллов.

РАЗДЕЛЫ 2 – 3.

Контрольная работа №2. Сила как мера неоднородности системы.
Максимальная оценка – 20 баллов.

РАЗДЕЛЫ 3 – 4.

Контрольная работа №3. Энергодинамический анализ процессов преобразования различных форм энергии.
Максимальная оценка – 20 баллов.

8.2. Отчеты по лабораторным работам для текущего контроля освоения дисциплины

Лабораторные работы не предусмотрены.

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

Максимальное количество баллов за экзамен – 40 баллов. Билет содержит два теоретических вопроса, относящихся к разным разделам дисциплины. Максимальная оценка за первый теоретический вопрос – 20 баллов, за второй теоретический вопрос – 20 баллов.

8.3.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины

1. Термодинамическая система (ТС). Виды ТС. Состояние ТС и параметры состояния ТС. Уравнение состояния ТС. Функция состояния ТС. Равновесное состояние ТС. Примеры.
2. Термодинамический процесс (ТП). Равновесный и неравновесный ТП. Противоречивость понятия равновесного ТП.
3. Обратимый и необратимый термодинамический процесс (ТП). Прямой и обратный цикл в равновесной термодинамике.
4. Понятия теплоты и работы в равновесной термодинамике. Неопределенность в понятии энергии.
5. Нулевое, 1-е, 2-е, 3-е начало термодинамики.
6. Метод термодинамических циклов равновесной термодинамики. Тепловая и холодильная машина.
7. Метод термодинамических потенциалов равновесной термодинамики.
8. Предмет изучения и научная парадигма энергодинамики. Пространственно неоднородная термодинамическая система.
9. Классификация сил и понятие результирующей силы в энергодинамике.
10. Основные постулаты (аксиомы) энергодинамики.
11. Классификация процессов в энергодинамике. Координаты состояния термодинамической системы. Теорема о числе независимых координат состояния термодинамической системы.
12. Параметры пространственной неоднородности в энергодинамике. Классы неравновесных процессов.
13. Энергия неоднородной изолированной системы как функция параметров неоднородности.
14. Парциальная энергия поливариантной термодинамической системы и принцип аддитивности парциальной энергии.
15. Парциальная энергия пространственно неоднородной системы. Таблицы выражений упорядоченных и неупорядоченных парциальных энергий (работ).
16. Введение понятия времени, потока энергии и потока энергоносителя в закон сохранения энергии.
17. Исключение диссипативных членов из уравнений баланса энергии.
18. Виды условий однозначности, дополняющих основное тождество энергодинамики.
19. Что нового привносит энергодинамика в учение об энергии.
20. Понятие энергодинамической силы как удельной силы, отнесенной к единице переносимого энергоносителя. Отличие активных сил от термодинамических сил релаксации.
21. Таблица аналитических выражений движущих сил разнородных процессов.
22. Энергоперенос и энергопревращение. Отличие работы переноса от работы превращения при использовании энергодинамических сил.
23. Аналитические выражения для неупорядоченного энергообмена.
24. Аналитические выражения для упорядоченного энергообмена.

25. Единство процессов переноса и преобразования энергии на основе представления Н.Умова закона сохранения энергии.
26. Универсальный показатель совершенства преобразователей энергии.
27. Абсолютный КПД как мера неравновесности источника энергии.
28. Мощностной КПД установки.
29. Антисимметрические соотношения взаимности для энергопревращения.
30. Критерии подобия процессов преобразования энергии.

8.3. Структура и примеры билетов для экзамена (1 семестр)

Экзамен по дисциплине включает контрольные задания по разделам учебной программы дисциплины. Билет включает 2 теоретических вопроса
Максимальная оценка – 40 баллов.

Пример билета для экзамена:

«Утверждаю»
зав. Кафедрой
Глебов М.Б.

Министерство науки и высшего образования РФ

**Российский химико-технологический университет
имени Д.И.Менделеева**

« »
2025 г

**Кафедра кибернетики химико-технологических
процессов**

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

Магистерская программа – «Кибернетика для
инновационных технологий»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

БИЛЕТ № 1

1. Термодинамическая система (ТС). Виды ТС. Состояние ТС и параметры состояния ТС. Уравнение состояния ТС. Функция состояния ТС. Равновесное состояние ТС. Примеры. (20 баллов)
2. Введение понятия времени, потока энергии и потока энергоносителя в закон сохранения энергии. (20 баллов)

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Дорохов И.Н. Системный анализ природных и технологических процессов. Учеб. Пособие. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева. 2022. 260 с..

Б) Дополнительная литература:

1. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. – 2-е изд., перераб. и доп., – Москва. Издательство Юрайт, 2020. 499с. – Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/455509> (дата обращения: 20.06.2025).

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

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

Научно-технические журналы:

- «Химическая промышленность сегодня», ISSN – 0023-110X;
- «Химическая технология», ISSN – 1684-5811;
- «Теоретические основы химической технологии», ISSN – 0040-3571;
- «Computers and Chemical Engineering» ISSN – 0098-1354;
- «Программные продукты и системы», ISSN (печатной версии) – 0236-235X, ISSN (онлайновой версии) – 2311-2735.

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

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

- конспекты лекций в формате *.pdf – 16;
- демонстрационные расчётные модули по комплексным заданиям;
- предустановленное лицензионное программное обеспечение в компьютерном классе (Windows 7, Microsoft Office 2010).

Имеются дополнительные средства для изучения дисциплины: электронные учебные пособия, библиотека программ для решения уравнений моделей, задания к практическим занятиям (50 задач), задания к самостоятельным работам (50 задач).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн.

- тематическая группа в социальной сети Вконтакте, доступ к групповым чатам (Discord, WhatsApp, Viber), к вебинарам (Discord, Zoom, webinar.ru), групповой электронной почте, онлайн-конференции в Skype.

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 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 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

В соответствии с учебным планом занятия проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий вместимостью не менее 30 человек, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения,

проектор, экран) и учебной мебелью.

Компьютерный класс, насчитывающий не менее 10 посадочных мест, с предустановленным лицензионным программным обеспечением (Windows, Microsoft Excel) и выходом в Интернет для проведения практических и лабораторных занятий.

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

11.2. Учебно-наглядные пособия

Учебные пособия по дисциплине.

Электронный раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Демонстрационные расчётные модули по комплексным заданиям.

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

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5. При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки. Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: инструкции по технике безопасности в компьютерном классе; методические рекомендации к практическим занятиям; учебные пособия; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде; раздаточный материал к разделам дисциплины; справочные материалы.

На кафедре КХТП используются электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; электронные конспекты лекций; учебно-методические разработки в электронном виде; демонстрационные программы; специализированное программное обеспечение; справочные материалы в электронном виде.

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения

№	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Windows 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License, Номер лицензии 62795478	10 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная
2	Microsoft Office Standard 2013	Контракт № 62-64ЭА/2013 от 02.12.2013	10 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование модулей	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля, оценки
Раздел 1. Термодинамические основы моделирования технологических и природных систем.	Знает: общее понятие термодинамической системы и ее свойства. Умеет: выполнять анализ и синтез термодинамических систем.. Владеет: методами анализа термодинамических систем.	Оценка на экзамене.
Раздел 2. Моделирование неоднородных систем.	Знает: математический аппарат термодинамических систем. Умеет: применять математический аппарат термодинамических систем. Владеет: методологией математического аппарата термодинамических систем.	Оценка на экзамене.

Раздел 3. Основные положения теории скалярных и векторных полей.	Знает: типы термодинамических процессов. Умеет: пользоваться методикой анализа и синтеза термодинамических процессов. Владеет: методами расчета и проектирования термодинамических процессов.	Оценка на экзамене.
Раздел 4. Принципы моделирования произвольных форм движения.	Знает: начала термодинамики. Умеет: использовать термодинамические функции состояния Владеет: приемами использования уравнений состояния.	Оценка на экзамене.

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 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
«Моделирование технологических и природных систем»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки

18.04.02 «Энерго– и ресурсосберегающие процессы в химической
 технологии, нефтехимии и биотехнологии»

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

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.

**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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Компьютерные системы проектирования и управления химическими
производствами»**

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена:

д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов

Т.В. Савицкой

к.т.н., доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов

П.Г. Михайловой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол № 8.

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 кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина **«Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. Дисциплины (модули) дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Математическое моделирование и методы синтеза гибких химических производств», «Математическое моделирование энерго- и ресурсоэффективных технологических систем», «Интегрированные системы управления химическими производствами», «Автоматизированные системы управления химико-технологическими процессами и системами» и аналогичных дисциплинах других направлений подготовки бакалавров.

Цель дисциплины – научить магистрантов теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования современных математических методов, моделей, информационных и программных средств для решения широкого круга задач автоматизированного проектирования и управления химическими производствами.

Задачи дисциплины:

- обучение магистрантов теоретическим методам исследования химических производств как объектов проектирования и управления;
- обучение теоретическим основам создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами;
- обучение магистрантов методам моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности;
- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования современных моделей, методов и комплексов программных средств для проектирования химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности;
- обучение методам и алгоритмам управления аппаратами периодического действия;
- обучение практическим навыкам использования современного программного обеспечения для управления химико-технологическими системами;
- обучение теоретическим основам проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений.

Дисциплина **«Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»** преподается в 1 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:**

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, вырабатывать 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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, использующиеся 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 – 6)
			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	
Выполнение	- Химическое,	ПК-3. Способен к	ПК-3.1 Знает методы и	Профессиональный стандарт

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
фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	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).	анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	средства определения показателей энергоресурсоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности	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 – 6)
			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	
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго-	Профессиональный стандарт 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской

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
характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	математического моделирования	ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	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 – 6)
			ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	
Исследование и разработка средств и систем автоматизации и управления различного назначения, в том числе жизненным циклом продукции и ее качеством применительно к конкретным условиям производства на основе отечественных и международных нормативных документов	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских	ПК-5 Способен решать базовые задачи управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности и управления качеством продукции на основе информационных	ПК-5.1 Знает основные законы регулирования, современные системы управления энерго- и ресурсосберегающими процессами химической технологии, нефтехимии и биотехнологии и их компьютерную реализацию	Профессиональный стандарт 40.057 "Специалист по автоматизированным системам управления машиностроительным предприятием" утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.09.2020 N 658н Обобщенная трудовая функция D. Проектирование АСУП D/01.7 Разработка структуры
			ПК-5.2 Умеет разрабатывать базовые системы управления технологическими процессами и производством, строить схему управления, сравнивать и оценивать эффективность	

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
Разработка, исследование, внедрение и сопровождение в организациях всех видов деятельности систем управления качеством, направленных на постоянное улучшение качества и повышение конкурентоспособности организации продукции и услуг в области профессиональной деятельности	работ в области химического и химико-технологического производства).	компьютерных технологий	системы управления технологическими процессами, использовать современные программно-аппаратные средства автоматизированного управления, в том числе на основе искусственного интеллекта.	АСУП (уровень квалификации – 7) D/04.7 Разработка интегрированной АСУП (уровень квалификации 7) Профессиональный стандарт 40.062 "Специалист по качеству", утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 22.04.2021 N 276н Обобщенная трудовая функция Обобщенная трудовая функция С. Управление качеством продукции (работ, услуг) в организации C/02.7. Обеспечение функционирования системы управления качеством (менеджмента качества)(уровень квалификации 7) C/03.7. Контроль выпуска продукции (работ, услуг), соответствующих требованиям
			ПК-5.3 Владеет основными положениями теории управления, навыками проектирования базовых схем управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности, методами контроля и управления качеством инновационной химической продукции на всех этапах жизненного цикла.	

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
				технических регламентов, стандартов (технических условий), утвержденным образцам (эталонам) и технической документации, условиям поставок и договоров (уровень квалификации – 7)

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления;
- основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами;
- методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности;
- модели, методы и комплексы программных средств для проектирования химических производств с учетом требований эксплуатационной надежности и промышленной безопасности;
- методы и алгоритмы прямого цифрового управления химико-технологическими процессами и алгоритмы управления аппаратами периодического действия;
- теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений.

Уметь:

- проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;
- ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности;
- исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач;
- использовать методы принятия решений для анализа и выбора альтернатив в процессе многокритериального принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами;
- проводить расчеты надежности оборудования и установок химических производств;
- проводить анализ оборудования и установок химических производств как источников техногенной опасности на стадии проектирования;
- разрабатывать математические модели процессов смены состояний с использованием теории классических сетей Петри.

Владеть:

- методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности;
- навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;
- навыками формализованного представления моделей логического управления аппаратами периодического действия;
- практическими навыками использования современного программного обеспечения для управления химико-технологическими системами.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	5	180	135
Контактная работа – аудиторные занятия:	2.8	102	75.6
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Лекции	0.933	34	25.5
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Практические занятия (ПЗ)	0.933	34	25.5
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Лабораторные работы (ЛР)	0.933	34	25.5
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Самостоятельная работа	1.2	42	32.4
Контактная самостоятельная работа (<i>АттК из УП для зач / зач с оц.</i>)	1.2	-	-
Самостоятельное изучение разделов дисциплины (<i>или другие виды самостоятельной работы</i>)		42	32.4
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0.4	0.3
Подготовка к экзамену.		35.6	26.7
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
1.	Раздел 1. Системный анализ химических производств как объектов проектирования и управления	5		2		1		-		2
1.1	Основные понятия, определения и терминология	2,5		1		0,5				1
1.2	Процессы проектирования и управления химическими производствами как объекты автоматизации	2,5		1		0,5				1
2.	Раздел 2. Общие вопросы проектирования химических производств	9		3		2		2		2
2.1	Задачи и основные направления проектирования химических производств	1,4		0,5		0,4				0,5
2.2	Основные части проекта химического предприятия	2,3		1		0,3				1
2.3	Основные этапы проектирования химических производств	1,3		0,5		0,3				0,5
2.4	Проблема выбора вариантов проектных решений	5		1		1		2		1

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
3.	Раздел 3. Основы создания и организации компьютерных систем проектирования химических производств	25		6		3		6		10
3.1	Функциональная структура компьютерной системы проектирования химических производств	1,5		0,5						1
3.2	Методическое, лингвистическое и организационное обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств	1		0,5						0,5
3.3	Виды комплексов и компонентов компьютерных систем проектирования	2		1		0,5				0,5
3.4	Информационное обеспечение компьютерных систем проектирования	5		1,5		1,5				2
3.5	Функциональная структура типовой системы поддержки принятия решений (СППР)	2		1						1
3.6	Лабораторная информационная менеджмент система (ЛИМС)	13,5		1,5		1		6		5

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
4.	Раздел 4. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств	19		5		2		4		8
4.1	Виды математических моделей, используемых при решении задач технологического проектирования химических производств	1,5		0,5						1
4.2	Метод структурного моделирования	5,5		1,5				2		2
4.3	Методы синтеза химико-технологических систем (ХТС)	5		1		2				2
4.4	Методы проектирования оптимальных технологических систем химических производств	5		1				2		2
4.5	Методы синтеза ХТС в условиях неопределённости	2		1						1
	Раздел 5. Проектирование химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности	54		11		16		16		11
5.1	Основные нормативные и нормативно-методические документы, регламентирующие проектирование химических производств с учетом требований промышленной безопасности	2		1						1

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
5.2	Методы проектирования химических производств с позиций надежности технических систем	9		2		4		2		1
5.3	Структурные, логико-вероятностные, вероятностные методы расчета надежности комбинированных систем	18		2		6		6		4
5.4	Методики оценки последствий химических аварий (ТОКСИ-2, ТОКСИ-3)	7		2		2		2		1
5.5	Модели и методики оценки последствий взрывов на химически опасных объектах.	9		2		3		2		2
5.6	Основные сведения об общих требованиях обеспечения пожарной безопасности технологических процессов.	6		2		1		2		1
5.7	Специализированное программное обеспечение для проектирования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств с учетом требований промышленной безопасности.	3		-				2		1

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
	Раздел 6. Основы построения и организации компьютерных систем управления технологическими процессами химических производств	3		2		-		-		1
6.1	Структура интегрированной автоматизированной системы управления химическими предприятиями	1.5		1						0.5
6.2	Основные методы и принципы построения иерархических систем управления. Распределенные системы управления	1.5		1						0.5
	Раздел 7. Модели, методы и алгоритмы логического управления аппаратами периодического действия и процессами их взаимодействия в многостадийных химико-технологических системах	18		3		6		6		3
7.1	Виды и формы представления модели логического управления	1		0,5						0.5
7.2	Определение классической сети Петри. Описание смены состояний в аппаратах периодического действия с использованием теории классических сетей Петри.	1		0,5						0.5

[illegible]

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
	ИТОГО	142		34		34		34		42
	<i>Экзамен (если предусмотрен УП)</i>	36								
	ИТОГО	180								

4.2 Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Системный анализ химических производств как объектов проектирования и управления

1.1. Основные понятия, определения и терминология: проектирование, проект, процесс проектирования, объект проектирования, проектные процедуры и проектные операции, системы и виды систем в иерархии химического производства. Химические производства как объекты проектирования и управления.

1.2 Процессы проектирования и управления химическими производствами как объекты автоматизации. Краткий исторический очерк развития отечественных и зарубежных систем автоматизированного проектирования и управления химическими производствами. Человеко-машинные системы для поддержки процессов проектирования и управления химическими производствами. Типовая структура человеко-машинной системы. Функциональное, оптимальное и системное проектирование. Необходимость создания компьютерных систем проектирования и управления химическими производствами.

Раздел 2. Общие вопросы проектирования химических производств

2.1. Задачи и основные направления проектирования химических производств.

2.2. Основные части проекта химического предприятия. Проектная документация. Типовая структура технологического регламента химического производства.

2.3. Основные этапы проектирования химических производств: предпроектные исследования, разработка задания на проектирование, инженерное (эскизное) проектирование, техническое проектирование.

2.4. Проблема выбора вариантов проектных решений: задачи выбора при проектировании химических производств, методы проектирования. Принятие решений при проектировании химических производств. Основные понятия и определения: альтернативы, цели и критерии. Классификация задач принятия решений.

Раздел 3. Основы создания и организации компьютерных систем проектирования химических производств

3.1. Функциональная структура компьютерной системы проектирования химических производств: состав и назначение подсистем. Общесистемные принципы создания компьютерных систем проектирования и информационных систем в ее составе.

3.2. Методическое, лингвистическое и организационное обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств.

3.3. Виды комплексов и компонентов компьютерных систем проектирования: программно-методический и программно-технический комплексы. Состав программного обеспечения компьютерных систем проектирования: общесистемное, базовое и прикладное. Методо- и проблемно-ориентированные универсальные и специализированные пакеты прикладных программ.

3.4. Информационное обеспечение компьютерных систем проектирования. Основные понятия и определения. Способы организации и хранения информации. Состав информационного обеспечения компьютерной системы проектирования химических производств: базы данных, банки данных, системы управления базами данных (СУБД).

3.5. Функциональная структура типовой системы поддержки принятия решений (СППР). Стратегии проектирования химических производств с использованием СППР.

3.6. Лабораторная информационная менеджмент система (ЛИМС) как средство автоматизации анализа, контроля и управления качеством химической продукции.

Определение. Основные функции. Отечественные и зарубежные ЛИМС.

Раздел 4. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств

4.1. Виды математических моделей, используемых при решении задач технологического проектирования химических производств.

4.2. Метод структурного моделирования.

4.3. Методы синтеза химико-технологических систем (ХТС): декомпозиционный, эвристический, интегрально-гипотетический и эволюционный.

4.4. Методы проектирования оптимальных технологических систем химических производств. Метод минимаксного критерия, метод многоуровневой оптимизации, метод "ветвей и границ", методы дискретного программирования.

4.5. Методы синтеза ХТС в условиях неопределённости. Схема "гибели и размножения".

Раздел 5. Проектирование химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности

5.1. Основные нормативные и нормативно-методические документы, регламентирующие проектирование химических производств с учетом требований промышленной безопасности.

5.2. Методы проектирования химических производств с позиций надежности технических систем. Основные понятия теории надежности. Методы расчета аппаратной и функциональной надежности простых и сложных систем. Резервирование как способ повышения надежности технических систем.

5.3. Структурные, логико-вероятностные, вероятностные методы расчета надежности комбинированных систем. Методы разложения по базовому элементу и «путей и сечений». Модели расчета надежности резервированных систем с использованием Марковских процессов. Использование сигнатур для анализа надежности структур. Использование универсального и специализированного программного обеспечения для расчетов надежности элементов и оборудования химико-технологических систем.

5.4. Методики оценки последствий химических аварий (ТОКСИ-2, ТОКСИ-3): сравнительный анализ допущений, назначения, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств.

5.5. Модели и методики оценки последствий взрывов на химически опасных объектах. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: назначение, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств.

5.6. Основные сведения об общих требованиях обеспечения пожарной безопасности технологических процессов. Основные расчетные соотношения для определения последствий пожаров «огненного шара», пролива, вспышки, факельного горения. Их использование при проектировании химических производств.

5.7. Специализированное программное обеспечение для проектирования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств с учетом требований промышленной безопасности. Примеры практического использования при реализации современных проектов.

Раздел 6. Основы построения и организации компьютерных систем управления технологическими процессами химических производств

6.1. Структура интегрированной автоматизированной системы управления химическими предприятиями.

6.2. Основные методы и принципы построения иерархических систем управления.

Распределенные системы управления.

Раздел 7. Модели, методы и алгоритмы логического управления аппаратами периодического действия и процессами их взаимодействия в многостадийных химико-технологических системах

7.1 Виды и формы представления модели логического управления. Модель технологической стадии многостадийного технологического процесса в виде графа смены состояний. Понятие элементарных технологических операций технологической стадии. Математическое описание графа смены состояний аппарата периодического действия в терминах теории множеств.

7.2 Определение классической сети Петри. Описание смены состояний в аппаратах периодического действия с использованием теории классических сетей Петри.

7.3 Правильные сети Петри: определение, классификация.

7.4 Алгоритмы логического управления процессом взаимодействия аппаратов периодического действия многостадийных ХТС.

7.5. Сети Петри с входами и выходами.

Раздел 8. Системы поддержки принятия решений в компьютерных системах проектирования и управления химическими производствами

8.1 Эвристические методы принятия решений. Матрицы решений, таблицы решений и деревья решений. Метод обобщенной ранжировки на основе парных сравнений по индивидуальным ранжировкам экспертов.

8.2 Аксиоматический подход к принятию решений. Понятие полезности, предпочтения. Аксиомы многокритериальной теории полезности. Принятие решений при задании предпочтений в форме отношений.

8.3 Метод анализа иерархии и метод ранжирования альтернатив для решения многокритериальных задач принятия решений.

8.4 Интеллектуальные методы поддержки принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами в условиях неопределенности: на основе нечеткой логики, экспертных систем и другие. Сравнительный анализ, области применения, достоинства и недостатки.

8.5 Стандартные оболочки систем поддержки принятия решений: основные функциональные возможности, области применения при проектировании химических производств.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
	Знать:								
1	– методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления;	+	+	+	+	+	+		
2	– основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами;			+			+		
3	– методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности;				+	+			+
4	– модели, методы и комплексы программных средств для проектирования химических производств с учетом требований эксплуатационной надежности и промышленной безопасности;					+			
5	– методы и алгоритмы управления аппаратами периодического действия;							+	
6	– теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений.		+						+
	Уметь:								
7	– проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;	+	+				+		
8	– ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности;		+	+	+				+
9	– исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач;				+	+			+

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
19	– 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.		+	+	+	+	+	+	+
		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	+		+		+			
	Код и наименование ПК (перечень из п.2)	Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)								
20	ПК-1. Способен – формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	– ПК-1.1. Знает современные методы, использующиеся при проведении научных исследований в области реализации принципов энерго- и ресурсосбережения и основные этапы выполнения научно-исследовательской работы			+		+			

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
21		– 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			+	+	+			
	– 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		+		+	+			+
		– ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов				+	+			

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
		ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности		+		+	+			
22	Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	– ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий				+	+			
		– ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств				+	+			

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
23	ПК-5 Способен решать базовые задачи управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности и управления качеством продукции на основе информационных компьютерных технологий	– ПК-5.1 Знает основные законы регулирования, современные системы управления энерго- и ресурсосберегающими процессами химической технологии, нефтехимии и биотехнологии и их компьютерную реализацию							+	
		– ПК-5.2 Умеет разрабатывать базовые системы управления технологическими процессами и производством, строить схему управления, сравнивать и оценивать эффективность системы управления технологическими процессами, использовать современные программно-аппаратные средства автоматизированного управления, в том числе на основе искусственного интеллекта.						+	+	+
		ПК-5.3 Владеет основными положениями теории управления, навыками проектирования базовых схем управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности, методами контроля и управления качеством инновационной химической продукции на всех этапах жизненного цикла			+			+	+	

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 (1.1, 1.2)	Практическое занятие 1. Системный анализ химического производства как объекта проектирования (на примере требований технического задания на проект). Определение функциональных и системных требований к проектируемому объекту.	1
2.	2 (2.1, 2.2, 2.3)	Практическое занятие 2. Задачи и основные направления проектирования химических производств. Типовая структура технологического регламента химического производства	1
3.	2 (2.4)	Практическое занятие 3. Задачи выбора проектных решений на отдельных этапах проектирования химических производств (на примерах составляющих технологических регламентов). Выбор показателей эффективности, критериев сравнения.	1
4.	3 (3.4)	Практическое занятия 4. Разработка элементов концептуальной модели баз данных для решения задач проектирования химических производств.	1,5
5.	3 (3.3)	Практическое занятие 5. Изучение функциональных возможностей специализированного прикладного программного обеспечения для решения задач синтеза химико-технологических систем как дискретно-непрерывных смешанно-целочисленных задач нелинейного программирования	0,5
6.	3 (3.6)	Практическое занятие 6. Формирование анализов с компонентами разных типов (численный, вычисляемый, список) и спецификаций (числовых, текстовых) для конфигурирования ЛИМС	1
7.	4(4.3)	Практическое занятие 7. Решение задач синтеза ХТС с использованием декомпозиционных и эвристических методов и алгоритмов в детерминированных условиях	2
8.	5 (5.2)	Практическое занятие 8. Расчет показателей надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем при проектировании химических производств	2
9.	5 (5.2)	Практическое занятие 9. Расчет показателей надежности резервированных систем на примерах установок химических производств	2
10.	5 (5.3)	Практическое занятие 10-11. Расчет показателей надежности химико-технологических систем с использованием структурных, логико-вероятностных, вероятностных методов, а также методов «путей и сечений»	4
11.	5 (5.3)	Практическое занятие 12. Моделирование состояний резервированных восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем с использованием марковских случайных процессов	2
12.	5 (5.4)	Практическое занятие 13. Изучение особенностей рассеяния легких и тяжелых газов при авариях с разрушением оборудования с опасными химическими веществами при	4

		проектировании химических производств	
13.	5 (5.5, 5.6)	Практические занятия 14-15. Расчет основных поражающих параметров (избыточного давления и импульса во фронте ударной волны), и зон поражения и разрушения при авариях со взрывами на типовом оборудовании и установках химических производств с использованием детерминированного и вероятностного подходов. Расчет основных поражающих факторов пожаров на опасных производственных объектах	4
14.	7.4, 7.5	Практическое занятие 16. Разработка алгоритма логического управления для многостадийного технологического процесса	6
15.	8.1	Практическое занятие 17. Использование эвристических методов принятия решений для сравнения и выбора альтернативных вариантов при проектировании химических производств	2
16.	8.3	Практическое занятие 18. Использование метода анализа иерархий для решения многокритериальных задач при проектировании химических производств	2

6.2 Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами», а также дает знания об использовании специализированного программного обеспечения для решения задач проектирования и управления химическими производствами.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 60 баллов (максимально по 4-15 баллов за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1	3.6	Изучение основных функциональных возможностей по регистрации образцов химической продукции, назначению испытаний по контролю качества продукции, вводу исходных данных и анализу полученных результатов с использованием учебной лабораторной информационной менеджмент системы (ЛИМС) контроля качества нефтепродукции	2 часа
2	3.6	Разработка лабораторной информационной менеджмент системы заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6	4 часа
3	4.2, 4.4	Использование специализированного программного обеспечения для решения задач структурного и структурно-параметрического синтеза ХТС	4 часа
4	5.2	Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом надежности типового	2 часа

		оборудования. Расчет показателей надежности систем с последовательно-параллельными, резервированными и комбинированными структурами различными методами.	
5	5.3, 2.4, 5.2	Использование специализированного программного обеспечения для выбора оборудования и проектирования химических производств с учетом надежности элементов и компонентов технических систем.	8 часа
6	5.4,5.5,5.6,5.7	Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом требований промышленной безопасности для анализа последствий аварий с выбросами, взрывами и пожарами на опасных производственных объектах химической и смежных отраслей промышленности	8 часов
8	7.3,7.4,7.5	Моделирование алгоритмов логического управления с использованием специализированного программного обеспечения	6 часов

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студента в объёме 42 часов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- подготовку к сдаче экзамена.

При изучении части дисциплины в рамках онлайн-курса – подготовка к тестам промежуточного и итогового контроля знаний по разделам дисциплины, осваиваемой в режиме онлайн.

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 лабораторных работ (60 баллов):

- Лабораторная работа №1 (раздел 3) – 4 балла;

- Лабораторная работа №2 (раздел 3) – 9 баллов;
- Лабораторная работа №3 (раздел 4) – 8 баллов;
- Лабораторная работа №4 (раздел 5) – 8 баллов;
- Лабораторная работа №5 (раздел 5) – 9 баллов;
- Лабораторная работа №6 (раздел 5) – 16 баллов;
- Лабораторная работа №7 (раздел 7) – 7 баллов;
- и итогового контроля в форме экзамена – 40 баллов.

8.1. Примеры тем лабораторных работ для текущего контроля освоения дисциплины

Раздел 3.

Лабораторная работа 1. Изучение основных функциональных возможностей по регистрации образцов химической продукции, назначению испытаний по контролю качества продукции, вводу исходных данных и анализу полученных результатов с использованием учебной лабораторной информационной менеджмент системы (ЛИМС) контроля качества нефтепродукции. Максимальная оценка – 4 балла.

Лабораторная работа 2. Разработка лабораторной информационной менеджмент-системы заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6. Максимальная оценка – 9 баллов.

Раздел 4.

Лабораторная работа 3. Использование специализированного программного обеспечения для решения задач структурного и структурно-параметрического синтеза ХТС. Максимальная оценка – 8 баллов.

Раздел 5.

Лабораторная работа 4. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом надежности типового оборудования. Расчет показателей надежности систем с последовательно-параллельными, резервированными и комбинированными структурами различными методами. Максимальная оценка – 9 баллов.

Лабораторная работа 5. Использование специализированного программного обеспечения для выбора оборудования и проектирования химических производств с учетом надежности элементов и компонентов технических систем. Максимальная оценка – 8 баллов.

Лабораторная работа 6. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом требований промышленной безопасности для анализа последствий аварий с выбросами, взрывами и пожарами на опасных производственных объектах химической и смежных отраслей промышленности.

Максимальная оценка – 16 баллов.

Раздел 7.

Лабораторная работа 7. Моделирование алгоритмов логического управления с использованием специализированного программного обеспечения. Максимальная оценка – 7 баллов.

8.2. Примеры типовых заданий на лабораторные работы

Лабораторная работа 1. «Изучение основных функциональных возможностей по регистрации образцов химической продукции, назначению испытаний по контролю качества продукции, вводу исходных данных и анализу полученных результатов с использованием учебной лабораторной информационной менеджмент системы контроля качества нефтепродукции».

Цель работы: изучить основные функциональные возможности учебной лабораторной информационной менеджмент системы контроля качества

нефтепродукции по регистрации образцов, назначению анализов (испытаний), вводу и корректировке результатов испытаний.

Лабораторная работа выполняется каждым студентом индивидуально или группой студентов, состоящей из 2-3 человек. Работа выполняется с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6. Ниже приведён общий порядок действий студентов при выполнении лабораторной работы № 1. В соответствии с вариантом задания, приведенным в таблице 1, студенты необходимо:

- 1) Зарегистрировать в ЛИМС три образца нефтепродукта;
- 2) Для приобретения навыков работы с системой на примере одного из образцов проводится:
 - изучение возможностей удаления анализов (испытаний);
 - добавление анализов (испытаний);
 - удаление всех анализов для образца;
 - добавление списка анализов для фракции 120-180 °С;
 - добавление любого анализа ещё раз (для создания реплики анализа (повторного измерения));
 - удаление повторного анализа.
- 3) Ввести результаты для образца, на который назначены анализы (испытания). Обратить внимание на допустимые пределы результатов анализов (пределы спецификаций).
- 4) Изучить функции пересмотра образцов, анализов, результатов.
- 5) Изучить возможности ЛИМС по настройке бизнес-правил для пересмотра.
- 6) Изучить возможные действия после пересмотра.

Таблица 1 – Варианты заданий на лабораторную работу №1

№ п/п	Название нефтепродукта	Шаблон	Удаляемый /Добавляемый анализ	Название анализа в системе / Результаты анализов		
				ФР_СОСТАВ_ТТ	МЕД_ПЛАС	ПЛОТНОСТ
1	Фракция 62-85°С	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Октановое число по моторному методу/ Октановое число, расчетный метод	: Температура начала кипения - 54°С; Температура конца кипения - 98°С	: Цвет – Блестяще черный	Б_15: 755 кг/м ³ и 760 кг/м ³
2	Фракция 85-120°С	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 15°С / Плотность при 20°С	: Температура начала кипения - 96°С; Температура конца кипения - 145°С.	: Цвет – Светло-оранжевый	Б_20: 748 кг/м ³ и 750 кг/м ³
3	Фракция 120-180°С	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Содержание серы / Испытание на медной пластинке	: Температура начала кипения - 108°С; Температура конца кипения -	: Цвет – Темно-красный	Б_15: 760 кг/м ³ и 763 кг/м ³

№ п/п	Название нефтепродукта	Шаблон	Удаляемый /Добавляемый анализ	Название анализа в системе / Результаты анализов		
				187°C.		
4	Фракция 150-250°C	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 20°C / Плотность при 15°C	ФР_СОСТАВ_ТТ ТТ: Температура начала кипения - 152°C; 98% перегоняется при температуре – 250°C	МЕД_ПЛАС : Цвет – Многоцветный	ПЛОТНОСТЬ_15: 763 кг/м³ и 765 кг/м³
5	Фракция 240-350°C	ТЯЖЕЛЫЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 15°C / Плотность при 20°C	ТЕМП_ВСПЫШКИ_3: Температура вспышки в закрытом тигле – -64°C	МЕД_ПЛАС : Цвет – Светло-оранжевый	ТЕМП_ЗАСТЫВАНИЯ : Температура застывания – -10°C
6	Фракция до 350°C	ТЯЖЕЛЫЕ ФРАКЦИИ	Содержание серы, %об / Массовая доля серы, %масс.	ФР_СОСТАВ_ТП: П: 95% перегоняется при температуре –360°C	МЕД_ПЛАС : Цвет – Темно-красный	ТЕМП_ЗАСТЫВАНИЯ : Температура застывания, – -6°C
7	Гудрон	ТЯЖЕЛЫЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 20°C / Плотность при 15°C	ТЕМП_РАЗМЯГЧЕНИЯ_ПО_КИШ: Температура размягчения по КиШ – 27°C Температура вспышки в открытом тигле – 250°C	ТЕМП_ВСПЫШКИ_О:	ПЛОТНОСТЬ_15: 980 кг/м³ и 982 кг/м³

Лабораторная работа 2. «Разработка лабораторной информационной менеджмент-системы заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6».

Цель работы: разработать ЛИМС заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6. ЛИМС должна обеспечивать регистрацию образцов (ввод необходимой информации об образце), назначение необходимых анализов (испытаний), ввод результатов, проверку результатов на соответствие нормативным документам и пределам измерений.

Лабораторная работа выполняется каждым студентом индивидуально или группой студентов, состоящей из 2-3 человек. Ниже приведён общий порядок действий студентов при выполнении лабораторной работы № 2.

1. Создание анализов (испытаний) с разными типами компонентов (численный, текст, список и вычисляемый):

1.1 В соответствии с таблицей 2 создать анализы (испытания) для контроля качества фракции 85-120 °C.

1.2 Создать анализ «ПЛОТНОСТЬ_15_1» с тремя компонентами: 2 компонента (Плотность1 и Плотность 2) – значения плотностей (результатов 2 повторных измерений плотности) и 1 компонент (Средняя плотность) - среднее значение плотности.

Таблица 2 – Исходные данные для формирования анализов для контроля качества фракции 85-120 °C в LabWare LIMS

№ п/п	Название (Name) и описание	Группа анализов (Common Name)	Тип анализа (Analysis Type)	Название, отображаемое в отчете (Reported Name)	Компонент анализа	Тип компонента	Свойства компонента					
							Единицы измерения	Число реплик	Тип вычислительной функции (расчетное соотношение)	Число зн. после запятой	Верхняя и нижняя граница результата	Может ли быть введен результат вне пределов
1	ФР_СОСТАВ2 По ГОСТ 2177-99 или ASTM Д 86	ФР_СОСТАВ_НП	PHYS-CHEM	Фракционный состав	Температура начала кипения	Численный	°C	1		0		
					Температура конца кипения	Численный	°C	1		0		
					Выход	Численный	% об.	1		0	0-100	False
					Остаток в колбе	Численный	% об.	1		0	0-100	False
2	МЕД_ПЛ По ГОСТ 6321-92	МЕД_ПЛ_НП	VISUAL	Испытание на медной пластинке	Цвет	Список 1) Светло-оранжевый 2) Темно-оранжевый 3) Темно-красный 4) Бледно-лиловый 5) Серебристый 6) Многоцветный с красным или зеленым оттенком (переливчатый), но не серый 7) Цвет графита или тускло-черный						
					Наличие налета	Список ДА НЕТ						
					Заключение	Список Выдерживает Не выдерживает						
3	ПЛОТНОСТЬ_15 По ГОСТ Р 51069-97	ПЛОТНОСТЬ	PHYSICAL	Плотность при 15°C	Плотность	Численный	г/см³	2		1		True
					Средняя плотность	Вычисляемый	г/см³		AVE (среднее значение)	1		True

1.3. Зарегистрировать образец фракции 85-120 °С, назначить анализы «МЕД_ПЛ», «ФР_СОСТАВ_2» и «ПЛОТНОСТЬ_15_1», ввести результаты и проверить работу.

1.4. Создать анализ «ПЛОТНОСТЬ_15» с двумя компонентами: 1 компонент (Плотность) – значение плотности, но с 2 репликами, и 1 компонент (Средняя плотность) – среднее значение плотности (см. таблицу 2).

1.5. Зарегистрировать образец, назначить анализ «ПЛОТНОСТЬ_15», ввести результаты и проверить работу.

2. Создание спецификаций продуктов (численных и текстовых), текстовых индикаторов и шаблонов регистрации образцов.

2.1. Создать список анализов «Фракция_85-120°C». Добавить в этот список созданные в соответствии с таблицей 2 анализы:

- ФР.СОСТАВ2 (определение фракционного состава фракции);
- МЕД_ПЛ (испытание на медной пластинке);
- ПЛОТНОСТЬ_15 (определение плотности при 15 °С).

2.2. В соответствии с таблицей 3 создать продукт «ТЯЖЕЛЫЕ_ФРАКЦИИ».

Таблица 3 – Сорта продукта «ТЯЖЕЛЫЕ_ФРАКЦИИ» и точки отбора проб

Сорт продукта	Точка отбора пробы
Фракция 240-350°C	На выходной эстакаде после Т-44
Фракция до 350°C	Выкидной трубопровод насоса Н-36/1,2
Фракция 350-420°C	На выходной эстакаде фр.350-420°C

2.3. Каждой фракции назначить список анализов (испытаний), созданный для фракции 85-120°C.

2.4. В соответствии с таблицей 4 для каждой фракции внести пределы спецификаций для соответствующих анализов. В качестве значения поля Stage использовать NONE (т.е. данный уровень спецификации не используется).

Таблица 4 – Данные для создания спецификации

Сорт продукта	Анализ	Компонент анализа	Значение компонента анализа по спецификации
Фракция 240-350°C	ФР_СОСТАВ2	Температура конца кипения	≤ 360°C
		Заключение	Выдерживает
	МЕД_ПЛ	Цвет	Светло-оранжевый или темно-оранжевый
		Наличие налета	Нет
Фракция до 350°C	ФР_СОСТАВ2	Температура конца кипения	≤ 360°C
Фракция 350-420°C	ФР_СОСТАВ2	Температура начала кипения	≥ 220°C
		Температура конца кипения	≤ 525°C

2.5. Создать текстовый идентификатор для образцов тяжелых фракций ID_FOR_FRACTION, с полями:

Порядковый номер образца – сорт продукта – дата регистрации

Sample Number – Product Grade – Login Date

2.6. Создать шаблон для регистрации образцов тяжелых фракций.

2.6.1. Параметры настройки 1-го слоя (уровня) конфигурации шаблона для регистрации образцов тяжелых фракций:

Название шаблона: ТЯЖЕЛЫЕ_ФРАКЦИИ;

Описание: Шаблон для регистрации фракций 240 – 420°C;

Статус при создании образца: Incomplete (Незавершён). Возможные статусы образцов в системе: Не получен (не доставлен в лабораторию), Незавершён (результаты не введены), В процессе (не все результаты введены), Завершен (все результаты введены), Авторизован (все результаты утверждены), Забракован, Отменен (не требуется).

Идентификатор: ID_FOR_FRACTION;

После регистрации образца необходимо открыть редактор назначения анализов и ввода результатов;

Анализы назначаются автоматически из спецификаций.

2.6.2. Параметры настройки 2-го слоя (уровня) конфигурации шаблона для регистрации образцов тяжелых фракций приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры настройки 2-го слоя конфигурации шаблона для регистрации образцов тяжелых фракций

Поле	Свойства				
	Название поля в шаблоне, которое видит пользователь	Режим ввода данных для поля	Тип поля	Значение по умолчанию при открытии шаблона	Список полей, от заполнения которых может зависеть доступность поля для ввода
Assigned Operator	Оператор	Вводится пользователем	Текст	&USER	
Product	Продукт	Обязательное	Список		
Product Grade	Сорт продукта	Обязательное	Список		Product
Sampling Point	Точка отбора	Обязательное	Список		
Due Date	Дата/время отбора	Обязательное	Date Time	1с	

2.7. Зарегистрировать образцы фракций 240 – 420°C, через соответствующий шаблон и ввести результаты испытаний. Проверить пределы спецификаций.

2.8. Открыть шаблон регистрации тяжелых фракций и добавить в TEST_LIST список анализов такой же, как и для фракции 85-120°C.

Лабораторная работа 3. Использование специализированного программного обеспечения для решения задач структурного и структурно-параметрического синтеза ХТС

1. На основе технологического регламента одного из продуктов подготовить исходную информацию для машинного расчета: разработать фрагмент принципиальной структуры индивидуального производства заданной производительности 8 т/год. Подготовка исходных данных включает расчет соотношения потоков по стадиям и определение недостающих плотностей реакционной массы.

2. Подобрать оборудование для синтеза индивидуальной и многоассортиментной ХТС выбирается из стандартных рядов оборудования (см. каталоги оборудования на сайте <http://cis.muctr.ru/alk/>) и на предприятиях-производителях и дистрибьютеров оборудования.

3. С использованием специализированного программного комплекса SofCes необходимо выполнить расчет индивидуального производства продукта.

Плановый срок выпуска:

- 1) 305 рабочих дней по 24 часа в сутки;
- 2) 305 рабочих дней по 16 часов в сутки.

При технологических стадиях большей продолжительности возможен кратковременный переход на круглосуточную работу предприятия. Длительности технологических стадий определяются на основе регламента.

4. В результате расчета индивидуального производства необходимо определить все допустимые диапазоны размеров партии, обеспечивающие наиболее эффективное использование оборудования (по коэффициентам заполнения) и провести исследование во всех допустимых диапазонах изменения размеров партий продукта.

5. После проверки результатов машинного расчета индивидуальной ХТС в программном комплексе SofCes преподавателем выдается задание из технологического регламента для подготовки исходных данных и выполнения машинного расчета принципиальной структуры ХТС для выпуска двух продуктов.

В результате расчета многоассортиментного производства двух продуктов необходимо определить все допустимые диапазоны размеров партии, обеспечивающие наиболее эффективное использование оборудования.

6. После проверки результатов машинного расчета в программном комплексе SofCes преподавателем выдается задание с исходными данными для исследования двух способов наработки ассортимента:

- последовательный в полном объеме;
- циклический (выполняется в программном комплексе I2S).

Необходимо определить наиболее эффективный способ организации выпуска двух продуктов.

7. По заданию преподавателя отдельные машинные расчеты проверяются ручным расчетом. Обобщение результатов, составление сравнительных таблиц, формирование выводов.

8. Оформление отчета. Сдача на предварительную проверку.

9. Защита отчета.

Лабораторная работа 4. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом надежности типового оборудования. Расчет показателей надежности систем с последовательно-параллельными, резервированными и комбинированными структурами различными методами.

Работа включает комплекс заданий расчета надежности различных структур различными методами. Примеры некоторых из заданий представлены ниже.

Часть 1. «Построение деревьев отказов произвольных структур и исследование надежности мостовых структур с использованием специализированного программного приложения»

Общее задание

Провести расчет мостиковой структуры с 8 элементами, горизонтальная структура всеми методами, исходные данные задаются по вариантам.

1. Провести расчет мостиковой структуры с 8 элементами, вертикальная структура всеми методами, исходные данные задаются по вариантам.
2. Провести сравнительный анализ результатов п.1 и 2.
3. Провести ознакомительный расчет для горизонтальной мостиковой структуры с 11 элементами. Сравнить с п.1.
4. Выполнить индивидуальное задание преподавателя.
5. Сделать сравнительные выводы по работе.

Пример варианта к п.1., часть 1.

- 1) Для горизонтальной структуры задаются вероятности отказов.

$$Q_{1.1}=Q_{1.2}=0.01$$

$$Q_1=0.1$$

$$Q_{2.1}=Q_{2.2}=0.005$$

$$Q_2=0.3$$

$$Q_{3.1}=Q_{3.2}=0.02$$

- 2) Для вертикальной структуры берутся такие же значения, но элементы расположены по-другому.

- 3) Для 11 элементов, горизонтальная структура

$$Q_3=0.5$$

$$Q_{4.1}=Q_{4.2}=0.05$$

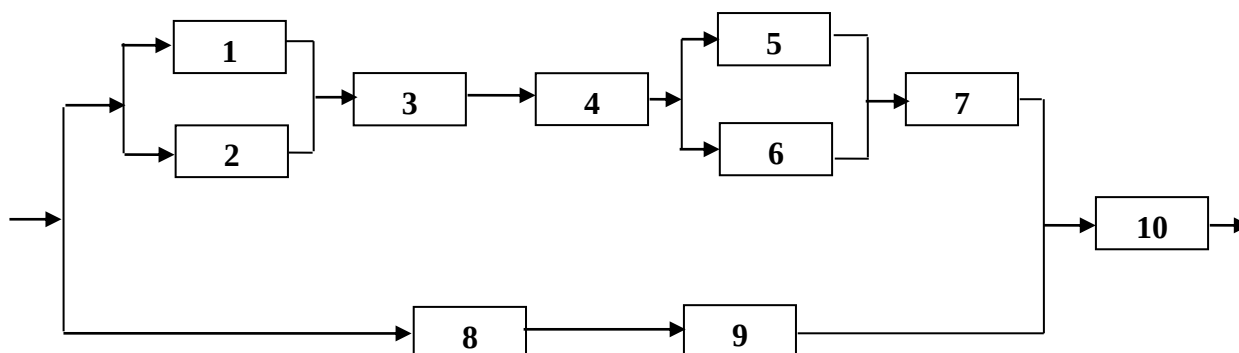
Часть 2

“Расчет последовательно-параллельных структур и комбинированных структур с использованием специализированного программного обеспечения”

2024/2025 учебный год

Вариант № 1

- 1) С использованием программного приложения, определить вероятность безотказной работы системы в течение 1000 часов.



Исходные данные определяются на основе вероятностей безотказной работы элементов на момент времени 1000 часов. Связь между вероятностью безотказной работы и интенсивностью отказа – экспоненциальная.

Интенсивности отказов элементов:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_5 = \lambda_6 = 0,0015 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_7 = 0,0001 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_8 = \lambda_9 = 0,0004 \text{ ч}^{-1}$$

$$\lambda_{10} = 0,0003 \text{ ч}^{-1}$$

Сравнить с результатом контрольной работы.

2. С использование программного приложения провести расчет двух модифицированных структур:
 - Добавить в исходной структуре элементы 11 и 12 последовательно к элементу 9. Интенсивность отказа элементов 11 и 12: $0,0004 \text{ ч}^{-1}$
 - Убрать из исходной структуры элементы 2 и 6.
3. Сделать сравнительные выводы с п.1.
4. Индивидуальное задание по комбинированной структуре выдается преподавателем на занятии в зависимости от полученных результатов.
5. Выводы по работе.

Часть 3. Расчеты комбинированных структур различными методами

1. Выполнить расчет структуры с перемычками. Вероятности отказов взять из вариантов, часть 1:
для элементов $Q1.1=Q1.2$; $Q2.1=Q2.2$;
для перемычек $Q1$ (мостик 1) $=Q3$ (перемычка вверх); $Q2$ (мостик 2) $=Q4$ (перемычка вниз).
2. Рассчитать разветвленную структуру в программном приложении всеми методами. Исходные данные взять из варианта, часть 1. Принять, $Q1.1=Q1.2=Q1.3$; $Q2.1=Q2.2$. Сравнить между собой полученные результаты и с п.1 по вероятности отказа.
3. Выполнить один из вариантов расчета следующей комбинированной структуры. Определить вероятность безотказной работы. Варианты комбинаций выдаются преподавателем на занятии:
 - А) Разветвленная по худшему значению по вероятности безотказной работы, элемент 6 последовательно ($P6=0.8$), структура с перемычкой.
 - В) Элемент 1 ($P1=0.6$), структура с перемычкой, далее 2 параллельных элемента ($Pi=0.9$)
 - С) Мостиковая горизонтальная из 8 элементов по худшему значению, далее последовательный элемент ($P=0.75$), далее структура с перемычкой.
 - Д) Структура с перемычкой и параллельным к ней элементом 7 ($P7=0.9$), далее последовательный элемент 8 ($P8=0.95$), далее разветвленная структура по худшему значению по вероятности безотказной работы.
 - Е) Мостиковая вертикальная структура по лучшему значению по вероятности безотказной работы, далее последовательный элемент 9 ($P9=0.85$), далее разветвленная структура по лучшему значению по вероятности безотказной работы.
Сделать вывод по полученным результатам.
4. Выводы по работе.

Часть 4. Расчет систем с резервированием с использованием универсального или специализированного программного обеспечения.

1. Определить вероятность безотказной работы системы, включающей три элемента в следующих случаях:

а) Система имеет нагруженный резерв. Все элементы начинают работать одновременно. Вероятность безотказной работы элементов подчиняется экспоненциальному закону. Интенсивности отказов всех элементов $\lambda_1=0.00025 \text{ ч}^{-1}$. Временной интервал 1200 часов.

б) Система имеет ненагруженный резерв, элементы работают в следующем режиме:

первый работает 250 часов от начала эксплуатации;

второй работает 500 часов после замены первого;

третий работает до конца исследуемого временного интервала.

Среднее время подключения элементов второго и третьего 10 часов. Вероятность безотказной работы элементов подчиняется экспоненциальному закону. Интенсивности отказов всех элементов одинаковы и равны $0,00025 \text{ ч}^{-1}$.

в) Система имеет облегченный резерв, при этом элементы первый и второй работают при пониженной нагрузке 0,9 от номинальной с интенсивностью $\lambda_1=0.000225 \text{ ч}^{-1}$. Элементы начинают работать одновременно. Третий элемент отказывает через 450 ч, второй – через 850 ч, первый – через 1100 ч.

г) Сравнить надежности трех систем.

2. Провести варьирование аналогичных режимов работы элементов (см.п.а)) в диапазоне времени до 4800 часов с шагом 600 часов и варьирование нагрузки (см.п.в)) соответствующих элементов в диапазоне от 0,5 до 0,85 от номинальной.

3. Построить графики функций вероятности безотказной работы системы $P(t)$ в течение времени t и шагам из п.2. (при необходимости корректируется преподавателем).

4. Сделать выводы по полученным результатам.

Все части работы оформляются в один отчет.

Лабораторная работа 5. Использование специализированного программного обеспечения для выбора оборудования и проектирования химических производств с учетом надежности элементов и компонентов технических систем.

Работа выполняется на примере одной из единиц технологического оборудования – трубопроводной арматуры или насосов.

Вариант № 1

Насос K150-125-400 центробежный консольный типа К используется для обогрева калориферов, температура указана на выходе.

1) Необходимо проверить, подойдет ли данный насос для установки перекачки нефтепродуктов. Для него используются следующие значения коэффициента кавитации (K_c) и коэффициента критического перепада давления (K_m):

$$K_c = 0,2;$$

$$K_m = 0,1$$

Расчёт ведётся при линейной пропускной характеристики (коэффициенты запаса по пропускной способности): $N_1=0,6$; $N_2=0,92$.

Диаметры сечения патрубка на выходах из конфузора и диффузора принять равными 0,125 м. Их углы 70° .

Таблица 1 – Исходные данные

Наименование параметра	Значения параметров режимов эксплуатации
Наименование рабочей среды	Товарная нефть
Абсолютное давление насыщенных паров рабочей среды при температуре на входе, МПа	0,066 (при температуре 45°C)
Плотность среды при рабочих условиях, кг/м ³	865
Коэффициент кинематической вязкости при температуре среды на входе, м ² /с	150 · 10 ⁻⁶
Массовый расход, кг/с	55
Максимальный массовый расход по технологическому регламенту, кг/с	110
Абсолютное давление на входе в, МПа	0,343
Минимальный перепад давления на, МПа	0,05
Абсолютное давление, МПа	0,101325
Диаметр трубопровода, на котором устанавливается, м	0,15
Шероховатость внутренней стенки трубопровода, м	6 · 10 ⁻⁴
Номинальный диаметр арматуры, м	0,4
Условная пропускная способность, м ³ /ч	400

Таблица 2 – Номинальные диаметры рабочего колеса и их условная пропускная способность

- 2) Необходимо провести оценку надёжности выбранного насоса тремя методами: структурным, по критериям отказов и через вероятность неразрушения.

а) определить вероятность безотказной работы насоса **структурным методом** в

Номинальный диаметр, мм	Kvy, м³/ч	Соответствующие значения коэффициентов кавитации
159	93,5	0,4
147	86,6	0,4
203	100	0,4
190	93,8	0,4
177	87,2	0,4
255	100	0,4
239	93,5	0,4
221	86,6	0,4
315	100	0,4
301	95,5	0,4
216	200	0,3
203	187	0,3
255	200	0,3
239	187	0,3
317	200	0,3
303	191	0,3
260	200	0,3
243	187	0,3
225	173	0,8
325	200	0,3
304	187	0,3
282	173	0,3
400	200	0,3
375	187	0,3
275	400	0,3
257	374	0,3
348	400	0,2
326	374	0,2
395	400	0,2
371	374	0,2
342	346	0,2

течение гарантийного срока 1 год (8760 ч), гарантийная наработка 35000 циклов при гарантийном сроке 1 год, время совершения одного цикла $t_{ц} = 900$ с, время, когда устройство открыто принять равным 60 с. Насос разбит на узлы (таблица 3), соединённые последовательно.

Таблица 3 – Данные для расчёта безотказной работы структурным методом

Наименование элементов и узлов		$P(t)$	$\lambda'_i = \beta_1 m \lambda_{0i} \cdot 10^{-6},$ 1/час
Узел А.			
1.	Рабочее колесо	0,9995	
2.	Торцевое уплотнение		0,02 (t1)
3.	Корпус		1,1 (t2)

4	Крышка	0,9995	
5.	Вал насоса	0,9995	
Узел Б.			
1.	Гайка рабочего колеса	0,9995	
2.	Шайба стопорная	0,9995	
3.	Уплотняющее кольцо		0,02 (t3)
4.	Крышка торцевого уплотнения	0,9995	

б) определить вероятность безотказной работы насоса методом **по критериям отказов** в течение назначенного ресурса 8760 ч (35000 циклов), время совершения одного цикла $t_{\text{ц}} = 900$ с. Процентное закрытие затвора (50%). Учтены отказы: негерметичность затвора, негерметичность по отношению к внешней среде и отсутствие рабочих перемещений. Коэффициент, учитывающий условия эксплуатации принять равным 5, уплотнение торцевое – 5 комплектов (используются не сразу все), уплотнение кольцевое – 2, остальное в количестве 1 шт.

Характеристика отказов для элементов, указанных в таблице 2, выглядит следующим образом:

Негерметичность по отношению к внешней среде:

- Торцевое уплотнение;
- Уплотняющее кольцо.

Негерметичность затвора:

- Корпус;
- Крышка;
- Крышка торцевого уплотнения.

Отсутствие рабочих перемещений:

- Рабочее колесо;
- Вал насоса;
- Гайка рабочего колеса;
- Шайба стопорная.

в) определить вероятность безотказной работы насоса методом **через вероятность неразрушения**, дополнительной деталью считать вал насоса (таблица 4).

Таблица 4 – Данные для расчёта безотказной работы через вероятность неразрушения

Наименование детали и напряжения	Расчетное напряжение, кгс/см ²	Допускаемое напряжение, кгс/см ²
РАБОЧЕЕ КОЛЕСО (в программе ФЛАНЕЦ)ф		
Осевые напряжения	725	1450
Радиальные напряжения	725	1450
Кольцевые напряжения	725	1450
КОРПУС		
Приведенное напряжение на внутренней поверхности	1000	1450
КРЫШКА		
Напряжение в средней части крышки	1000	1450

ВАЛ		
Максимальное напряжение в центре	1000	1370

Коэффициенты вариации расчётных и допустимых напряжений принять равными 0,12 и 0,2 соответственно. Параметры функционирования приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные для расчёта безотказной работы по параметрам функционирования

Параметр функционирования	Среднее значение параметра y_i	Ограничения параметра (y^B, y^H)
Герметичность в затворе	35 см ³ /мин	$y^B=120$ см ³ /мин $y^H=20$ см ³ /мин
Давление открытия клапана	40 см ²	$y^B=180$ кгс/см ² $y^H=50$ кгс/см ²
Коэффициент гидравлического сопротивления	1,35	$y^B=2$ $y^H=0,7$

- 3) Сравнить рассчитанные значения вероятностей безотказной работы тремя методами.
- 4) Сделать выводы.

Лабораторная работа 6. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом требований промышленной безопасности для анализа последствий аварий с выбросами, взрывами и пожарами на опасных производственных объектах химической и смежных отраслей промышленности.

Работа включает 2 или 3 части. Части 1 и 2 выполняются всеми студентами в обязательном порядке. Часть 3 выполняется студентами, которые не выполняли в бакалавриате аналогичную работу. Если студенты выполняли в бакалавриате аналогичную работу, они выполняют индивидуальное задание по заданию преподавателя.

Часть 1. Моделирование выбросов опасных веществ и оценка последствий химических аварий с использованием специализированного программного обеспечения.

Вариант 10

1. С использованием программного комплекса TOXI^{+Risk} 5 провести моделирование и оценку последствий аварийного выброса при разрушении резервуара с газообразным аммиаком, находящегося под давлением, расположенного на территории НАК «Азот».

Исходные данные

Характеристики источника загрязнения:

Масса аммиака в хранилище – 50 т;
Давление – 6 кгс/см²;
Температура хранения – (-33)°C;

Метеоусловия:

Атмосферное давление – 1,0133 бара;

Температура воздуха – 25°C;

Время суток – день;

Интенсивность солнечного излучения – 400 Вт/м²

Скорость ветра: 1,0; 7,5 м/с (задание выполняется для каждого из значений скорости ветра);

Категории устойчивости атмосферы: определить из справочной информации;

Подстилающая поверхность – центры малых городов.

2. Провести моделирование по методике ТОКСИ-3, варьируя для каждой скорости ветра категории устойчивости атмосферы (см. справочную информацию). Определить наиболее опасные метеоусловия, при которых концентрация ОВ превышает ПДКр.з.нпз = 20 мг/м³ на расстояниях, соответствующих производственной площадке, а также пороговые и/или смертельные токсодозы.
3. Результаты моделирования свести в таблицу и сделать промежуточные выводы о влиянии метеоусловий на значения концентраций и длины зон загрязнения и заражения по пороговым и/или смертельным токсодозам в результате аварийного выброса при разрушении хранилища с ОВ.
4. Используя функцию «Виртуальные датчики», провести установку 3-4 датчиков на производственной площадке, получить графические зависимости концентраций в заданных точках при различных метеоусловиях. Сделать выводы по полученным результатам.
5. Ручным расчетом по заданию преподавателя проверить некоторые полученные значения.
6. Сделать обобщающие выводы по работе.

Часть 2. Моделирование последствий взрывов топливно-воздушных смесей и пожаров при авариях на типовом оборудовании химически опасных объектов с использованием программного комплекса ТОХИ+^{Risk}

1. С использованием программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} версии 5 учебная (модуль **ВЗРЫВ ТВС**) рассчитать последствия взрыва емкости с жидким веществом:

- Вещество: винилхлорид
- Концентрация горючего, кг/м³: равна стехиометрической.
- Объем вещества, м³: 200
- Давление в оборудовании: 1,1 атм.,
- Температура в оборудовании, °C: 20

Рассчитать:

а) с помощью функции «Расчет взрывоопасной массы» модуля «ТОКСИ» массу опасного вещества, участвующего во взрыве и границы зон 0,5 НКПВ, НКПВ, ВКПВ, варьируя метеоусловия:

- Скорость ветра: 2 м/с.
 - Класс устойчивости атмосферы: А и F
 - Окружающее пространство: сильно загроможденное пространство
 - Тип местности: центры малых городов
 - Температура окружающего воздуха, °C: 20
 - Температура поверхности местности, °C: 18
 - Параметры поверхности пролива: тип – асфальт; Т поверхности пролива 20 °C
- Определить наихудшие метеоусловия.

Далее все расчеты вести для полученных в п. а) взрывоопасных масс
б) размеры границ зон разрушения/поражения различной степени тяжести;
в) значения вероятностей разрушения/поражения (50%, 99%) на заданном расстоянии (50 м);

г) давление во фронте ударной волны и импульс фазы сжатия на заданных расстояниях от центра взрыва;

д) получить (построить) графические зависимости давления, импульса, вероятности поражения от расстояния;

Нанести на ситуационный план изолинии для зон разрушения/поражения.

2. С использованием программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} версии 5 учебная или выше (модуля **ВЗРЫВ ТНТ**) рассчитать размеры границ зон разрушения/поражения взрыва емкости с гетерогенным веществом (см. п.1) определяемые по формуле Садовского и через тротильный эквивалент для полупространства.

Нанести на ситуационный план изолинии для зон разрушения/поражения.

3. Произвести сравнительный анализ результатов расчетов, полученных в модулях **ВЗРЫВ ТВС и ВЗРЫВ** на расстоянии 50 м от источника аварии.

4. По заданию преподавателя ручным расчетом проверить правильность основных расчетных соотношений по взрыву топливо-воздушной смеси (ТВС) и тринитротолуола (ТНТ).

Сделать выводы и дать рекомендации по повышению уровня безопасности объекта.

5. С использованием модуля Пожарная безопасность технологических процессов (ПОЖАР) программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} версии 4.4.1 или выше:

- Определить зоны поражения от воздействия теплового излучения пожара «огненного шара»

- Рассчитать интенсивность теплового излучения на расстоянии 20м от места аварии и время существования «огненного шара»

- Нанести на ситуационный план зоны поражения при пожаре «огненного шара»

- Сделать выводы о тяжести последствий пожара

5. С использованием модуля Пожарная безопасность технологических процессов (ПОЖАР):

- Определить площадь пролива на неограниченную поверхность, исходя из объемов резервуаров

- Определить зоны поражения от воздействия теплового излучения возникшего пожара пролива

- Интенсивность теплового излучения и вероятность смертельного поражения на расстоянии 20м от пролива

- Расстояние от центра пролива, на котором вероятность смертельного поражения человека составляет 50%

Расчеты произвести по Методике определения расчетных величин пожарного риска в редакции (2010 г), реализованной в модуле.

6. Получить графические зависимости интенсивности излучения и вероятности смертельного поражения (пробит-функция) от расстояния.

7. Сделать выводы о тяжести последствий пожара.

8. Нанести на ситуационный план зоны поражения при пожаре пролива.

9. Проверить отдельные результаты расчетов вручную (по заданию преподавателя).

10. Сделать выводы

Исходные данные

Вещество: метиловый спирт

Объем вещества. м³: 25

Температура ОС – 20С

Скорость ветра – 1,3,5 м/с

Для пожара «огненного шара» массу образовавшихся паров принять как массу, участвующую во взрыве, определенную ранее (см. п.1).

Часть 3. Анализ-риска аварий на опасном производственном объекте с использованием специализированного программного обеспечения

Задание

На территории опасного производственного объекта расположены три аналогичных источника потенциальной опасности (табл. 1)

Таблица 1

Источники опасности

Оборудование	Вещество	Объём ЖФ ¹ , %	Давление, МПа абс.	Температура, °С
Цистерна для СУГ 15-1200-02	Пропан	80%	1,6	45
СУГ 50 Н1(СУГ 2400-1,6-50-Н1)	Пропилен	85%	0,8	90
Колонна отгонки легких фракций К-10	Керосин	80%	0,296	180

¹ Жидкая фаза

Метеоусловия: температура окружающего воздуха 10°С, скорость ветра 2 м/с, класс устойчивости атмосферы – С.

Учесть расчёт с коэффициентами защищённости людей и без:

- Токсическое воздействие;
- Поражение ударной волной;
- Поражение тепловым излучением

Учесть отражение облака от поверхности земли.

В зону аварии могут попасть следующие лица:

1. Персонал объекта:

1) Административное здание. Число одновременно находящихся сотрудников – 40 чел. Режим работы – 8-ми часовая 5-дневная рабочая неделя.

2) Периметр завода. Число одновременно находящихся сотрудников – 18 чел. Режим работы – сутки через двое. Число бригад работников – 3.

3) Ремонтные мастерские. Число сотрудников – 50 чел. Режим работы – 8-ми часовая 5-дневная рабочая неделя.

II. Третьи лица:

Общежитие. Число жителей – 200 чел.

При расчетах для:

- Цистерна для СУГ 15-1200-02 использовать дерево исхода - частичное разрушение с ГЖ;
- СУГ 50 Н1(СУГ 2400-1,6-50-Н1) использовать дерево исхода - частичное разрушение с ГЖ;
- Колонны отгонки легких фракций К-10 резервуар использовать дерево исхода - частичное разрушение с ГЖ;

Используя вышеуказанные данные и типовые деревья развития опасных ситуаций необходимо:

- 1) построить поле потенциального риска на территории предприятия и за его пределами (загромождение пространства принять как сильное);
- 2) определить показатели пожарного риска для персонала объекта и третьих лиц.
- 3) определить наиболее вероятные и худшие сценарии по вероятности (или частоте);
- 4) определить возможные количества пострадавших и погибших в результате аварии и худшие сценарии по последствиям;
- 5) получить F/N диаграммы для персонала и третьих лиц;
- 6) получить F/P диаграмму;
- 7) получить F/Q диаграмму;
- 8) сделать содержательные, сравнительные выводы по работе.

Лабораторная работа 7. Моделирование алгоритмов логического управления с использованием специализированного программного обеспечения.

1. На основе регламента составить технологическую схему совмещенного производства с указанием необходимых контрольно-измерительных средств и регулирующих органов.

2. Рассчитать время протекания процесса по отдельным стадиям и построить диаграмму Ганта.

3. Разработать и построить сеть Петри с входами и выходами.

4. Реализовать систему логического управления с использованием проблемно-ориентированной программы моделирования сетевых систем (HPSim Version: 1.1).

Объектом исследования являются процессы производства неорганических реактивов: гидроксида бария ($\text{Ba}(\text{OH})_2$), карбоната бария (BaCO_3).

Производство $\text{Ba}(\text{OH})_2$

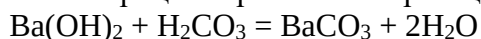
$\text{Ba}(\text{OH})_2$ реактивный получают путем очистки гидроксида бария технического от примесей. Способ очистки – кристаллизация. Производство включает в себя следующие стадии:

- растворение гидроксида бария технического;
- фильтрация полученного раствора;
- кристаллизация;
- центрифугирование;
- сушка;
- фасовка готовой продукции.

На стадии центрифугирования происходит разделение материального потока на два: первый идет на получение товарного гидроксида бария; второй – направляется на стадию карбонизации для получения бария углекислого.

Производство бария углекислого

Барий углекислый реактивный получают карбонизацией раствора гидроксида бария газообразной углекислотой. Процесс протекает по реакции:



и включает в себя следующие стадии:

- получение гидроксида бария полуфабриката;
- карбонизация;
- промывка и отжим пасты;
- сушка;
- фасовка готового продукта.

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (экзамен)

Экзаменационный билет включает 3 теоретических вопроса, оцениваемых в зависимости от уровня сложности.

1. Процесс проектирования химического производства как объект автоматизации. Необходимость создания компьютерных систем проектирования химических производств.

2. Методологические основы проектирования химических производств. Основные понятия и определения: проект, проектирование, проектная операция, проектная процедура, система, виды систем.

3. Виды систем: сложные технические системы; человеко-машинные системы; системы автоматизированного проектирования; химико-технологическая система, гибкие автоматизированные производственные системы; компьютерные системы проектирования химических производств.

4. Функциональная структура компьютерной системы проектирования химических производств: состав и назначение подсистем.

5. Типовая структура системы поддержки принятия решения в составе компьютерной системы проектирования. Связи между элементами и подсистемами. Привести примеры.

6. Основные части проекта. Привести примеры информационных взаимосвязей между различными частями.

7. Предпроектные исследования. Процесс разработки задания на проектирование. Проектная документация. Содержание проекта, содержание пояснительной записки проекта.

8. Основные этапы технологического проектирования. Решаемые задачи, взаимосвязь задач проектирования на разных этапах (привести примеры).

9. Понятие автоматизации проектирования, цели создания систем автоматизированного проектирования, компьютерных систем проектирования. Отличительные особенности компьютерных систем проектирования и систем автоматизированного проектирования.

10. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования. Виды математических моделей, используемых при решении задач технологического проектирования (привести примеры).

11. Основные понятия теории надежности. Классификации состояний объектов (систем). Виды надежности.

12. Отказ как ключевое понятие надежности сложных технических систем. Неопределенности природы возникновения отказов. Классификация отказов

13. Структурные методы расчета надежности.

14. Показатели надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем.

15. Комплексные показатели надежности и примеры их использования на химических производствах

16. Структурные и логико-вероятностные методы расчета надежности

комбинированных систем. Метод «путей и сечений».

17. Методы повышения надежности сложных технических систем. Резервирование как метод повышения надежности.

18. Методы расчета надежности резервированных систем с нагруженным, ненагруженным и облегченным резервом.

19. Особенности расчета восстанавливаемых систем с резервированием

20. Анализ надежности сложных технических систем с использованием марковских случайных процессов.

21. Определение коэффициентов готовности различными методами. Привести примеры, дать сравнительный анализ

22. Проектирование химических производств с учетом требований промышленной безопасности: основные задачи, методики, модели. Современные требования промышленной безопасности опасных производственных объектов.

23. Моделирование взрывов на опасных производственных объектах. Детерминированный подход на основе тротилового эквивалента. Рекомендации по определению зон поражения для объектов и людей.

24. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: назначение, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств. Определение зон разрушения на основе детерминированных подходов по избыточному давлению во фронте ударной волны.

25. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Определение вероятностей поражения, повреждения, потерь в результате аварий. Основные расчетные соотношения для определения поражающих факторов взрыва при различных режимах взрывного превращения.

26. Модели пожаров «огненного шара», пролива, вспышки для определения последствий аварий на опасных производственных объектах.

27. Методика оценки последствий химических аварий ТОКСИ-3: назначение, области применения при проектировании, основные расчетные соотношения для определения характеристик источников аварий для различных сценариев.

28. Рекомендации по определению массы вещества, участвующей во взрыве в соответствии с современными нормативно-методическими требованиями.

29. Методика оценки последствий химических аварий (ТОКСИ-2): назначение, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств. Определение токсодоз.

30. Сравнительный анализ и основные допущения современных расчетных методик оценки последствий химических аварий ТОКСИ-2 и ТОКСИ-3. Сценарии аварий. Привести примеры.

31. Влияние факторов окружающей среды и характеристик источника выброса на процессы распространения примеси вещества в атмосфере по методикам ТОКСИ-2 и ТОКСИ-3. Привести примеры.

32. Лабораторная информационная менеджмент система (ЛИМС) как средство автоматизации анализа, контроля и управления качеством химической продукции. Определение. Основные функции. Отечественные и зарубежные ЛИМС.

33. LabWare LIMS V6: основные функции, модульная архитектура, интеграция с информационными системами предприятия, поддерживаемые операционные системы и базы данных.

34. Основные этапы разработки ЛИМС с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6.

35. Модели смены состояний аппаратов периодического действия. Этапы построения теоретико-множественной модели.

36. Построение графа смены состояний для периодического реактора.

37. Сети Петри. Определение, построение, свойства. Матрицы инцидентности.

Граф достижимых маркирований. Виды правильных сетей Петри.

38. Сеть Петри с входами и выходами. Определение, построение, свойства. Матрицы инцидентности.

39. Построение сети Петри многостадийных периодических процессов.

40. Структура интегрированной автоматизированной системы управления химическими предприятиями.

41. Основные методы и принципы построения иерархических систем управления. Распределенные системы управления.

42. Задачи выбора при проектировании химических производств, методы проектирования. Принятие решений при проектировании химических производств. Основные понятия и определения: альтернативы, цели и критерии. Классификация задач принятия решений.

43. Эвристические методы принятия решений. Матрицы решений, таблицы решений и деревья решений. Метод обобщенной ранжировки на основе парных сравнений по индивидуальным ранжировкам экспертов.

44. Эвристические методы принятия решений. Метод обобщенной ранжировки на основе парных сравнений по индивидуальным ранжировкам экспертов.

45. Аксиоматический подход к принятию решений. Понятие полезности, предпочтения. Аксиомы многокритериальной теории полезности. Принятие решений при задании предпочтений в форме отношений.

46. Метод анализа иерархии для решения многокритериальных задач принятия решений.

47. Метод ранжирования альтернатив для решения многокритериальных задач принятия решений.

48. Интеллектуальные методы поддержки принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами в условиях неопределенности: на основе нечеткой логики, экспертных систем и другие. Сравнительный анализ, области применения, достоинства и недостатки.

Максимальное количество баллов за экзамен – 40 баллов.

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

8.4. Структура и примеры билетов для экзамена.

Экзамен по дисциплине **«Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»** проводится в 1 семестре и включает контрольные вопросы по 8 разделам рабочей программы дисциплины. Билет для **экзамена** состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для **экзамена**.

«Утверждаю» Зав. каф. КХТП (Должность, название кафедры) _____ Глебов М.Б. (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

	Магистерская программа – «Кибернетика для инновационных технологий»
	Дисциплина «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»
Билет № 1	
1. Процесс проектирования химического производства как объект автоматизации. Необходимость создания компьютерных систем проектирования химических производств. (11 баллов) 2. Моделирование взрывов на опасных производственных объектах. Детерминированный подход на основе тротилового эквивалента. Рекомендации по определению зон поражения для объектов и людей. (15 баллов) 3. Основные функции, выполняемые интегрированными АСУ. (14 баллов)	

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами. Конспекты лекций: учеб. пособие/ Т.В. Савицкая, П.Г.Михайлова. – М: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. – 234 с.

2. Компьютерное моделирование анализа риска, последствий аварий и расчета надежности технологического оборудования опасных производственных объектов с использованием специализированного программного обеспечения: учеб. пособие / Т. В. Савицкая, К. А. Тихоненко. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2024. – 268 с.

Б) Дополнительная литература:

1. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. – М.: КолосС, 2010. – 526 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений) (подраздел 1.3 (32 с.), разделы 4.1, 4.2 (70 с.), глава 5 (102 с.)).

2. Савицкая Т.В. Методы оценки рисков и негативных воздействий химически опасных объектов / Т.В. Савицкая, А.Ф. Егоров. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 264 с.

3. Задачи и примеры анализа риска, оценки последствий аварий и негативных воздействий химически опасных объектов: учеб. пособие / Т. В. Савицкая, А. Ф. Егоров, П.Г. Михайлова, С. А. Лёвушкина. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2011. – 312 с. (раздел 2 (68 с.)).

4. Рекомендации по созданию и работе с базами данных учебно-методического комплекса по проблемам химической безопасности / Составители: Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Михайлова П.Г., Горанский А.В. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011 – 185 с. (раздел 3 (93 с.)).

5. Информационно-моделирующая система мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды [Текст]/Т.В. Савицкая, А.Ф. Егоров. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013.-138 с.

6. Компьютерное моделирование последствий аварий на опасных производственных объектах с использованием программного комплекса FLACS/ А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, Е.В. Казарезова, А.Ю. Захарова.– М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2017. –164 с.

7. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов /Под ред.

А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига» 2010. – 371 с.

8. Методическое и программное обеспечение для оценки надёжности и безопасности функционирования химико-технологического оборудования: монография / [Т. Н. Швецова-Шиловская и др.]. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 370 с. (главы 2,3 (148 с.), раздел 4.1 (33 с.).

9. Оптимизация расписания работы многопродуктовых химико-технологических систем. Лабораторный практикум: учеб. пособие / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, С.А. Левушкина. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. – 118 с.

10. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 448 с.

11. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Перов В.Л. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств, М.: Химия, 1979. – 320 с.

12. Савицкая Т.В., Бельков В.П. Синтез гибких химико-технологических систем (детерминированный и стохастический варианты). Текст лекций / Под ред. профессора А.Ф. Егорова – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2005. – 120 с.

13. Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. Техн. Ун-та, 2003. – 224 с.

14. Руководство по работе с базами данных учебно-методического комплекса по проблемам химической безопасности / Составители: Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Горанский А.В., Курбатова М.Г. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 164 с.

15. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ., – М.: “Радио и связь”, 1993. – 320 с.

16. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения: Пер. с англ. – М.: “Радио и связь”, 1981. – 559 с.

17. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин [и др.]. – М.: ЗАО ФИД «Деловой Экспресс», 2002. – 368 с.

18. Шубин В.С., Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств. – М.: Колосс, 2006. – 359 с.

19. ГОСТ Р 53798-2010. Стандартное руководство по лабораторным информационным менеджмент-системам (ЛИМС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53798-2010> (дата обращения: 20.04.2022).

20. Сайт компании ЛАБВЭА СНГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labware.ru/> (дата обращения: 20.04.2022).

21. Сайт компании LabWare [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labware.com/> (дата обращения: 20.04.2022).

22. Кафаров В.В., Перов В.Л., Егоров А.Ф. Цифровые системы автоматического управления химико-технологическими процессами и системами: учебное пособие. – М.: Моск. Хим.-технол. Ин-т им. Д.И. Менделеева, 1987 – 48 с.

23. Туркатов С.А., Егоров А.Ф. Автоматизированное проектирование систем многосвязного и прямого цифрового управления гибкими технологическими системами (Анализ и синтез многосвязных систем управления химико-технологическими процессами) [Текст]: текст лекций: учебное пособие. – М.: РХТУ. Издат. центр, 1996. – 48 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстрационный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям и отдельным практическим занятиям.
- Видеолекции.

- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- «Теоретические основы химической технологии», ISSN – 0040-3571;
- «Автоматизация в промышленности», ISSN – 1819-5962;
- «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика», ISSN – 2073-0004;
- «СТА: современные технологии автоматизации», ISSN – 0206-975X;
- «Программные продукты и системы», ISSN (печатной версии) – 0236-235X, ISSN (онлайновой версии) – 2311-2735;
- «Химическая промышленность сегодня», ISSN – 0023-110X;
- «Химическая технология», ISSN – 1684-5811;
- «Стандарты и качество», ISSN – 0038-9692;
- «Контроль качества продукции», ISSN – 2541-9900;
- «Безопасность труда в промышленности», ISSN – 0409-2961;
- «Безопасность в техносфере», ISSN – 1998-071X;
- «Информационные технологии в проектировании и производстве», ISSN – 2073-2597;
- «Химическое и нефтегазовое машиностроение», ISSN – 023-1126.

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <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
- <https://www.fips.ru/registers-web/> - Сайт ФИПС. Открытые реестры
- <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека
- <http://ib.safety.ru/> - Информационные бюллетени Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
- <https://www.safety.ru/> - Сайт Закрытого акционерного общества «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности»
- <http://www.logus.ru/> - Сайт научно - производственного предприятия «ЛОГУС»
- <https://integral.ru/> - сайт группы компаний «Интеграл»
- <http://www.aieco.ru/> - сайт научно-производственного предприятия «Авиаинструмент»
- <https://mosecom.mos.ru/> - сайт Мосэкомониторинга
- <https://chemview.epa.gov/chemview> - Chemical Data Access Tool
- <https://toxnet.nlm.nih.gov/index.html> - TOXNET Databases

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- электронные конспекты лекций по 16 темам;
- теоретические положения и примеры выполнения лабораторных работ;
- задания по лабораторным работам;
- лабораторная информационная система LabWare LIMS V6 (передана в 2010 г. ФГУП "ВНИЦСМВ" на основании письма от зав. кафедрой КИС ХТ Егорова А.Ф.,

бессрочно);

- инструментальный пакет моделирования сетей Петри HPSim (свободно распространяемое ПО).

Для изучения дисциплины в рамках онлайн-курса:

- компьютерные презентации интерактивных лекций и отдельных практических занятий (общее число презентаций – 29);

- банк тестовых заданий для промежуточного и итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 194) – для контроля знаний части дисциплины, осваиваемой в форме онлайн-курса.

Указанные информационно-образовательные ресурсы размещены на выделенном сервере кафедры КХТП в Междисциплинарной автоматизированной системе обучения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cis.muctr.ru/alk> (дата обращения: 27.04.2024) (доступны из локальной сети кафедры КХТП) и на учебном портале РХТУ им. Д. И. Менделеева (study.muctr.ru).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн с использованием LMS Moodle, включая обмен сообщениями, новостной форум и др., и платформы проведения видеоконференций ZOOM, Pruffme.

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 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 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 *«Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»* проводятся в

форме лекций, практических занятий, лабораторных работ и самостоятельной работы обучающегося.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеется 2 компьютерных класса с 17 компьютерами (2 для работы преподавателей, 15 для работы студентов) и 1 выделенный сервер. Все компьютеры имеют доступ к сети Интернет.

Для проведения практических занятий по дисциплине имеются: многофункциональная лаборатория, оборудованная мультимедийным оборудованием, имеющая 10 персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть с выходом в сеть Интернет, и одно многофункциональное устройство; компьютерный класс, оборудованный 9 компьютерами, объединенными в локальную сеть с выходом в Интернет, и одним принтером.

Кафедра обладает стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

Для реализации информационно-образовательных ресурсов дисциплин вариативной части программы на выделенном сервере кафедры КХТП под управлением Microsoft Windows Server Standart 2008 развернуты веб-сервер apache 2.2.17, Hypertext Preprocessor (php) 5.3.18, система управления базами данных (СУБД) MySQL 5, система дистанционного обучения (СДО) Moodle 2.6.1. Для доступа к Moodle используется веб-браузер Google Chrome или Mozilla FireFox.

При осуществлении образовательного процесса магистрантов, обучающихся по направлению 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий» по дисциплине «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами» используется современное программное обеспечение: специализированное программное обеспечение TOXI+RISK и др.

11.2. Учебно-наглядные пособия:

По дисциплине «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами» доступна рабочая программа, размещенная на сайте междисциплинарной автоматизированной системы обучения <http://cis.muctr.ru/alk/>. Реализованы лекции по учебным модулям в соответствии с рабочей программой дисциплины. Доступны комплексы лабораторных работ, включающие типовые примеры выполнения работ и требования к отчетам, варианты заданий, руководство по работе с моделирующим программным обеспечением.

Магистранты могут использовать данные электронные ресурсы для самостоятельной подготовки.

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

На кафедре КХТП для проведения лабораторных занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях или при проведении лабораторных работ на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки.

Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: учебные пособия; методические рекомендации к практическим занятиям; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде.

На кафедре КХТП электронные образовательные ресурсы: междисциплинарная автоматизированная система обучения на основе сетевых технологий для подготовки химиков-технологов; инновационный учебно-методический комплекс по проблемам химической безопасности и биологической безопасности; специализированное программное обеспечение; базы данных специализированного назначения, используемые при изучении соответствующих разделов дисциплины «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами».

Информационно-образовательные, информационно-методические, учебно-исследовательские ресурсы представлены на образовательном сайте междисциплинарной АСО <http://cis.muctr.ru/alk/>, разработанном на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии с 2014 по 2021 г., поддерживаемом в настоящее время, сотрудниками кафедры КХТП и доступном из локальной сети кафедры. Электронные образовательные ресурсы по дисциплине размещены также на учебном портале РХТУ им. Д.И. Менделеева (study.muctr.ru).

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1.	LabWare LIMS V6	Письмо о передаче 2010 год	-	Бессрочно
2.	Среда разработки Simulink Control Design Classroom new Product From 25 to 49 Concurrent Licenses (per License)	Контракт № 143-164ЭА/2010 от 14.12.10	25 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная
3.	ПО TOXI+Risk, версия 5 учебная	Соглашение N СТ0000054/23 о предоставлении программного продукта от 31.08.2023 между ЗАО НТЦ ПБ и РХТУ им. Д.И. Менделеева	Сетевая, 10 рабочих мест	28.09.2023-31.12.2023 с возможностью пролонгации на каждый календарный год
4.	SoF CES – программное обеспечение для синтеза ХТС	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017662858 «Программное обеспечение для синтеза химико-технологических систем «SoF CES». Правообладатели: Сальников	-	Бессрочно

№ п/ п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
		Е.Д., Савицкая Т.В. Авторы: Сальников Е.Д., Савицкая Т.В. Заявка №2017614720, дата поступления 18 мая 2017 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 17 ноября 2017 г.		
5.	I2S – программное приложение для задач моделирования многоассортиментных ХТС	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ N 2019665460 “Программное приложение для задач моделирования многоассортиментных химико-технологических систем”, Авторы Чернухин А.В., Сверчков А.М., Савицкая Т.В. Правообладатель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева”. Заявка N 2019664173. Дата поступления 11 ноября 2019 г., Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22 ноября 2019 г.	-	Бессрочно
6.	Программное приложение для решения задач подбора и расчета надежности трубопроводной арматуры для магистральных трубопроводов.	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660870 Программное приложение для решения задач подбора и расчета надежности трубопроводной арматуры для магистральных трубопроводов. Правообладатель: Федеральное государственное	-	Бессрочно

№ п/ п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
		бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Авторы: Тихоненко К.А., Сверчков А.М., Савицкая Т.В. Заявка № 2022660268 дата поступления 30 мая 2022 г., зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 10 июня 2022 г.		
7.	Программное приложение для расчета показателей надежности комбинированных структур,	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682202 от 23 октября 2023 г. Программное приложение для расчета показателей надежности комбинированных структур, Правообладатель ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, авторы Молин М.М., Савицкая Т.В.	-	Бессрочно

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Системный анализ химических производств как объектов проектирования и управления	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;	Оценка на экзамене
Раздел 2. Общие вопросы проектирования химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений. Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления; ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; использовать методы принятия решений для анализа и выбора альтернатив в процессе многокритериального принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами;	Оценка на экзамене
Раздел 3. Основы создания и организации компьютерных систем проектирования химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами; Умеет: ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; Владеет: навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей	Оценки за лабораторные работы №1,2. Оценка на экзамене

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;	
Раздел 4. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности; Умеет: ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач; Владеет: методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности; навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;	Оценка на экзамене Оценка за лабораторную работу №3
Раздел 5. Проектирование химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности; модели, методы и комплексы программных средств для проектирования химических производств с учетом требований эксплуатационной надежности и промышленной безопасности; Умеет: исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач;	Оценки за лабораторные работы №4, 5, 6. Оценка на экзамене

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	проводить расчеты надежности оборудования и установок химических производств; проводить анализ оборудования и установок химических производств как источников техногенной опасности на стадии проектирования; Владеет: навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;	
Раздел 6. Основы построения и организации компьютерных систем управления технологическими процессами химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами; Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;	Оценка на экзамене
Раздел 7. Модели, методы и алгоритмы логического управления аппаратами периодического действия и процессами их взаимодействия в многостадийных химико-технологических системах	Знает: методы и алгоритмы прямого цифрового управления химико-технологическими процессами и алгоритмы управления аппаратами периодического действия; Умеет: разрабатывать математические модели процессов смены состояний с использованием теории классических сетей Петри Владеет: методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности; навыками формализованного представления моделей логического управления аппаратами периодического действия;	Оценка на экзамене Оценка за лабораторную работу №7
Раздел 8. Системы поддержки принятия решений в компьютерных системах проектирования и управления	Знает: методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия	Оценка на экзамене

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
химическими производствами	решений. Умеет: ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач; использовать методы принятия решений для анализа и выбора альтернатив в процессе многокритериального принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами; Владеет: методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности	

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 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
«Компьютерные системы проектирования и управления химическими
производствами»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки
 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
 нефтехимии и биотехнологии»
 Магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»

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.

**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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Компьютерные системы проектирования и управления химическими
производствами»**

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена:

д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов

Т.В. Савицкой

к.т.н., доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов

П.Г. Михайловой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол № 8.

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 кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина **«Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. Дисциплины (модули) дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Математическое моделирование и методы синтеза гибких химических производств», «Математическое моделирование энерго- и ресурсоэффективных технологических систем», «Интегрированные системы управления химическими производствами», «Автоматизированные системы управления химико-технологическими процессами и системами» и аналогичных дисциплинах других направлений подготовки бакалавров.

Цель дисциплины – научить магистрантов теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования современных математических методов, моделей, информационных и программных средств для решения широкого круга задач автоматизированного проектирования и управления химическими производствами.

Задачи дисциплины:

- обучение магистрантов теоретическим методам исследования химических производств как объектов проектирования и управления;
- обучение теоретическим основам создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами;
- обучение магистрантов методам моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности;
- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования современных моделей, методов и комплексов программных средств для проектирования химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности;
- обучение методам и алгоритмам управления аппаратами периодического действия;
- обучение практическим навыкам использования современного программного обеспечения для управления химико-технологическими системами;
- обучение теоретическим основам проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений.

Дисциплина **«Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»** преподается в 1 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:**

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, вырабатывать 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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 – 6)
			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	
Выполнение	- Химическое,	ПК-3. Способен к	ПК-3.1 Знает методы и	Профессиональный стандарт

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
фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	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).	анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	средства определения показателей энергоресурсоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности	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 – 6)
			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	
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго-	Профессиональный стандарт 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской

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
характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	математического моделирования	ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	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 – 6)
			ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	
Исследование и разработка средств и систем автоматизации и управления различного назначения, в том числе жизненным циклом продукции и ее качеством применительно к конкретным условиям производства на основе отечественных и международных нормативных документов	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских	ПК-5 Способен решать базовые задачи управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности и управления качеством продукции на основе информационных	ПК-5.1 Знает основные законы регулирования, современные системы управления энерго- и ресурсосберегающими процессами химической технологии, нефтехимии и биотехнологии и их компьютерную реализацию	Профессиональный стандарт 40.057 "Специалист по автоматизированным системам управления машиностроительным предприятием" утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.09.2020 N 658н Обобщенная трудовая функция D. Проектирование АСУП D/01.7 Разработка структуры
			ПК-5.2 Умеет разрабатывать базовые системы управления технологическими процессами и производством, строить схему управления, сравнивать и оценивать эффективность	

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
Разработка, исследование, внедрение и сопровождение в организациях всех видов деятельности систем управления качеством, направленных на постоянное улучшение качества и повышение конкурентоспособности организации продукции и услуг в области профессиональной деятельности	работ в области химического и химико-технологического производства).	компьютерных технологий	системы управления технологическими процессами, использовать современные программно-аппаратные средства автоматизированного управления, в том числе на основе искусственного интеллекта.	АСУП (уровень квалификации – 7) D/04.7 Разработка интегрированной АСУП (уровень квалификации 7) Профессиональный стандарт 40.062 "Специалист по качеству", утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 22.04.2021 N 276н Обобщенная трудовая функция Обобщенная трудовая функция С. Управление качеством продукции (работ, услуг) в организации C/02.7. Обеспечение функционирования системы управления качеством (менеджмента качества)(уровень квалификации 7) C/03.7. Контроль выпуска продукции (работ, услуг), соответствующих требованиям
			ПК-5.3 Владеет основными положениями теории управления, навыками проектирования базовых схем управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности, методами контроля и управления качеством инновационной химической продукции на всех этапах жизненного цикла.	

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
				технических регламентов, стандартов (технических условий), утвержденным образцам (эталонам) и технической документации, условиям поставок и договоров (уровень квалификации – 7)

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления;
- основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами;
- методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности;
- модели, методы и комплексы программных средств для проектирования химических производств с учетом требований эксплуатационной надежности и промышленной безопасности;
- алгоритмы управления аппаратами периодического действия;
- теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений.

Уметь:

- проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;
- ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности;
- исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач;
- использовать методы принятия решений для анализа и выбора альтернатив в процессе многокритериального принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами;
- проводить расчеты надежности оборудования и установок химических производств;
- проводить анализ оборудования и установок химических производств как источников техногенной опасности на стадии проектирования;
- разрабатывать математические модели процессов смены состояний с использованием теории классических сетей Петри.

Владеть:

- методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности;
- навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;
- навыками формализованного представления моделей логического управления аппаратами периодического действия;
- практическими навыками использования современного программного обеспечения для управления химико-технологическими системами.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	5	180	135
Контактная работа – аудиторные занятия:	2.8	102	75.6
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Лекции	0.933	34	25.5
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Практические занятия (ПЗ)	0.933	34	25.5
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Лабораторные работы (ЛР)	0.933	34	25.5
в том числе в форме практической подготовки (<i>при наличии</i>)			
Самостоятельная работа	1.2	42	32.4
Контактная самостоятельная работа (<i>АттК из УП для зач / зач с оц.</i>)	1.2	-	-
Самостоятельное изучение разделов дисциплины (<i>или другие виды самостоятельной работы</i>)		42	32.4
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0.4	0.3
Подготовка к экзамену.		35.6	26.7
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
1.	Раздел 1. Системный анализ химических производств как объектов проектирования и управления	5		2		1		-		2
1.1	Основные понятия, определения и терминология	2,5		1		0,5				1
1.2	Процессы проектирования и управления химическими производствами как объекты автоматизации	2,5		1		0,5				1
2.	Раздел 2. Общие вопросы проектирования химических производств	9		3		2		2		2
2.1	Задачи и основные направления проектирования химических производств	1,4		0,5		0,4				0,5
2.2	Основные части проекта химического предприятия	2,3		1		0,3				1
2.3	Основные этапы проектирования химических производств	1,3		0,5		0,3				0,5
2.4	Проблема выбора вариантов проектных решений	5		1		1		2		1

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
3.	Раздел 3. Основы создания и организации компьютерных систем проектирования химических производств	25		6		3		6		10
3.1	Функциональная структура компьютерной системы проектирования химических производств	1,5		0,5						1
3.2	Методическое, лингвистическое и организационное обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств	1		0,5						0,5
3.3	Виды комплексов и компонентов компьютерных систем проектирования	2		1		0,5				0,5
3.4	Информационное обеспечение компьютерных систем проектирования	5		1,5		1,5				2
3.5	Функциональная структура типовой системы поддержки принятия решений (СППР)	2		1						1
3.6	Лабораторная информационная менеджмент система (ЛИМС)	13,5		1,5		1		6		5

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
4.	Раздел 4. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств	19		5		2		4		8
4.1	Виды математических моделей, используемых при решении задач технологического проектирования химических производств	1,5		0,5						1
4.2	Метод структурного моделирования	5,5		1,5				2		2
4.3	Методы синтеза химико-технологических систем (ХТС)	5		1		2				2
4.4	Методы проектирования оптимальных технологических систем химических производств	5		1				2		2
4.5	Методы синтеза ХТС в условиях неопределённости	2		1						1
	Раздел 5. Проектирование химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности	54		11		16		16		11
5.1	Основные нормативные и нормативно-методические документы, регламентирующие проектирование химических производств с учетом требований промышленной безопасности	2		1						1

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
5.2	Методы проектирования химических производств с позиций надежности технических систем	9		2		4		2		1
5.3	Структурные, логико-вероятностные, вероятностные методы расчета надежности комбинированных систем	18		2		6		6		4
5.4	Методики оценки последствий химических аварий (ТОКСИ-2, ТОКСИ-3)	7		2		2		2		1
5.5	Модели и методики оценки последствий взрывов на химически опасных объектах.	9		2		3		2		2
5.6	Основные сведения об общих требованиях обеспечения пожарной безопасности технологических процессов.	6		2		1		2		1
5.7	Специализированное программное обеспечение для проектирования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств с учетом требований промышленной безопасности.	3		-				2		1

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
	Раздел 6. Основы построения и организации компьютерных систем управления технологическими процессами химических производств	3		2		-		-		1
6.1	Структура интегрированной автоматизированной системы управления химическими предприятиями	1.5		1						0.5
6.2	Основные методы и принципы построения иерархических систем управления. Распределенные системы управления	1.5		1						0.5
	Раздел 7. Модели, методы и алгоритмы логического управления аппаратами периодического действия и процессами их взаимодействия в многостадийных химико-технологических системах	18		3		6		6		3
7.1	Виды и формы представления модели логического управления	1		0,5						0.5
7.2	Определение классической сети Петри. Описание смены состояний в аппаратах периодического действия с использованием теории классических сетей Петри.	1		0,5						0.5

[illegible]

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Лаб. работы	в т.ч. в форме пр. подг. (при наличии)	Сам. работа
	ИТОГО	142		34		34		34		42
	<i>Экзамен (если предусмотрен УП)</i>	36								
	ИТОГО	180								

4.2 Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Системный анализ химических производств как объектов проектирования и управления

1.1. Основные понятия, определения и терминология: проектирование, проект, процесс проектирования, объект проектирования, проектные процедуры и проектные операции, системы и виды систем в иерархии химического производства. Химические производства как объекты проектирования и управления.

1.2 Процессы проектирования и управления химическими производствами как объекты автоматизации. Краткий исторический очерк развития отечественных и зарубежных систем автоматизированного проектирования и управления химическими производствами. Человеко-машинные системы для поддержки процессов проектирования и управления химическими производствами. Типовая структура человеко-машинной системы. Функциональное, оптимальное и системное проектирование. Необходимость создания компьютерных систем проектирования и управления химическими производствами.

Раздел 2. Общие вопросы проектирования химических производств

2.1. Задачи и основные направления проектирования химических производств.

2.2. Основные части проекта химического предприятия. Проектная документация. Типовая структура технологического регламента химического производства.

2.3. Основные этапы проектирования химических производств: предпроектные исследования, разработка задания на проектирование, инженерное (эскизное) проектирование, техническое проектирование.

2.4. Проблема выбора вариантов проектных решений: задачи выбора при проектировании химических производств, методы проектирования. Принятие решений при проектировании химических производств. Основные понятия и определения: альтернативы, цели и критерии. Классификация задач принятия решений.

Раздел 3. Основы создания и организации компьютерных систем проектирования химических производств

3.1. Функциональная структура компьютерной системы проектирования химических производств: состав и назначение подсистем. Общесистемные принципы создания компьютерных систем проектирования и информационных систем в ее составе.

3.2. Методическое, лингвистическое и организационное обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств.

3.3. Виды комплексов и компонентов компьютерных систем проектирования: программно-методический и программно-технический комплексы. Состав программного обеспечения компьютерных систем проектирования: общесистемное, базовое и прикладное. Методо- и проблемно-ориентированные универсальные и специализированные пакеты прикладных программ.

3.4. Информационное обеспечение компьютерных систем проектирования. Основные понятия и определения. Способы организации и хранения информации. Состав информационного обеспечения компьютерной системы проектирования химических производств: базы данных, банки данных, системы управления базами данных (СУБД).

3.5. Функциональная структура типовой системы поддержки принятия решений (СППР). Стратегии проектирования химических производств с использованием СППР.

3.6. Лабораторная информационная менеджмент система (ЛИМС) как средство автоматизации анализа, контроля и управления качеством химической продукции.

Определение. Основные функции. Отечественные и зарубежные ЛИМС.

Раздел 4. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств

4.1. Виды математических моделей, используемых при решении задач технологического проектирования химических производств.

4.2. Метод структурного моделирования.

4.3. Методы синтеза химико-технологических систем (ХТС): декомпозиционный, эвристический, интегрально-гипотетический и эволюционный.

4.4. Методы проектирования оптимальных технологических систем химических производств. Метод минимаксного критерия, метод многоуровневой оптимизации, метод "ветвей и границ", методы дискретного программирования.

4.5. Методы синтеза ХТС в условиях неопределённости. Схема "гибели и размножения".

Раздел 5. Проектирование химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности

5.1. Основные нормативные и нормативно-методические документы, регламентирующие проектирование химических производств с учетом требований промышленной безопасности.

5.2. Методы проектирования химических производств с позиций надежности технических систем. Основные понятия теории надежности. Методы расчета аппаратной и функциональной надежности простых и сложных систем. Резервирование как способ повышения надежности технических систем.

5.3. Структурные, логико-вероятностные, вероятностные методы расчета надежности комбинированных систем. Методы разложения по базовому элементу и «путей и сечений». Модели расчета надежности резервированных систем с использованием Марковских процессов. Использование сигнатур для анализа надежности структур. Использование универсального и специализированного программного обеспечения для расчетов надежности элементов и оборудования химико-технологических систем.

5.4. Методики оценки последствий химических аварий (ТОКСИ-2, ТОКСИ-3): сравнительный анализ допущений, назначения, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств.

5.5. Модели и методики оценки последствий взрывов на химически опасных объектах. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: назначение, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств.

5.6. Основные сведения об общих требованиях обеспечения пожарной безопасности технологических процессов. Основные расчетные соотношения для определения последствий пожаров «огненного шара», пролива, вспышки, факельного горения. Их использование при проектировании химических производств.

5.7. Специализированное программное обеспечение для проектирования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств с учетом требований промышленной безопасности. Примеры практического использования при реализации современных проектов.

Раздел 6. Основы построения и организации компьютерных систем управления технологическими процессами химических производств

6.1. Структура интегрированной автоматизированной системы управления химическими предприятиями.

6.2. Основные методы и принципы построения иерархических систем управления.

Распределенные системы управления.

Раздел 7. Модели, методы и алгоритмы логического управления аппаратами периодического действия и процессами их взаимодействия в многостадийных химико-технологических системах

7.1 Виды и формы представления модели логического управления. Модель технологической стадии многостадийного технологического процесса в виде графа смены состояний. Понятие элементарных технологических операций технологической стадии. Математическое описание графа смены состояний аппарата периодического действия в терминах теории множеств.

7.2 Определение классической сети Петри. Описание смены состояний в аппаратах периодического действия с использованием теории классических сетей Петри.

7.3 Правильные сети Петри: определение, классификация.

7.4 Алгоритмы логического управления процессом взаимодействия аппаратов периодического действия многостадийных ХТС.

7.5. Сети Петри с входами и выходами.

Раздел 8. Системы поддержки принятия решений в компьютерных системах проектирования и управления химическими производствами

8.1 Эвристические методы принятия решений. Матрицы решений, таблицы решений и деревья решений. Метод обобщенной ранжировки на основе парных сравнений по индивидуальным ранжировкам экспертов.

8.2 Аксиоматический подход к принятию решений. Понятие полезности, предпочтения. Аксиомы многокритериальной теории полезности. Принятие решений при задании предпочтений в форме отношений.

8.3 Метод анализа иерархии и метод ранжирования альтернатив для решения многокритериальных задач принятия решений.

8.4 Интеллектуальные методы поддержки принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами в условиях неопределенности: на основе нечеткой логики, экспертных систем и другие. Сравнительный анализ, области применения, достоинства и недостатки.

8.5 Стандартные оболочки систем поддержки принятия решений: основные функциональные возможности, области применения при проектировании химических производств.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
	Знать:								
1	– методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления;	+	+	+	+	+	+		
2	– основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами;			+			+		
3	– методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности;				+	+			+
4	– модели, методы и комплексы программных средств для проектирования химических производств с учетом требований эксплуатационной надежности и промышленной безопасности;					+			
5	– методы и алгоритмы управления аппаратами периодического действия;							+	
6	– теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений.		+						+
	Уметь:								
7	– проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;	+	+				+		
8	– ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности;		+	+	+				+
9	– исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач;				+	+			+

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
18	– 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.		+	+	+	+	+	+	+
		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	+		+		+			
	Код и наименование ПК (перечень из п.2)	Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)								
19	ПК-1. Способен – формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	– ПК-1.1. Знает современные методы, использующиеся при проведении научных исследований в области реализации принципов энерго- и ресурсосбережения и основные этапы выполнения научно-исследовательской работы			+		+			

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
20		– 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			+	+	+			
	– 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		+		+	+			+
		– ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов				+	+			

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
		ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности		+		+	+			
21	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	– ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий				+	+			
		– ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств				+	+			

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
22	ПК-5 Способен решать базовые задачи управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности и управления качеством продукции на основе информационных компьютерных технологий	– ПК-5.1 Знает основные законы регулирования, современные системы управления энерго- и ресурсосберегающими процессами химической технологии, нефтехимии и биотехнологии и их компьютерную реализацию						+	
		– ПК-5.2 Умеет разрабатывать базовые системы управления технологическими процессами и производством, строить схему управления, сравнивать и оценивать эффективность системы управления технологическими процессами, использовать современные программно-аппаратные средства автоматизированного управления, в том числе на основе искусственного интеллекта.					+	+	+
		ПК-5.3 Владеет основными положениями теории управления, навыками проектирования базовых схем управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности, методами контроля и управления качеством инновационной химической продукции на всех этапах жизненного цикла			+		+	+	

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 (1.1, 1.2)	Практическое занятие 1. Системный анализ химического производства как объекта проектирования (на примере требований технического задания на проект). Определение функциональных и системных требований к проектируемому объекту.	1
2.	2 (2.1, 2.2, 2.3)	Практическое занятие 2. Задачи и основные направления проектирования химических производств. Типовая структура технологического регламента химического производства	1
3.	2 (2.4)	Практическое занятие 3. Задачи выбора проектных решений на отдельных этапах проектирования химических производств (на примерах составляющих технологических регламентов). Выбор показателей эффективности, критериев сравнения.	1
4.	3 (3.4)	Практическое занятия 4. Разработка элементов концептуальной модели баз данных для решения задач проектирования химических производств.	1,5
5.	3 (3.3)	Практическое занятие 5. Изучение функциональных возможностей специализированного прикладного программного обеспечения для решения задач синтеза химико-технологических систем как дискретно-непрерывных смешанно-целочисленных задач нелинейного программирования	0,5
6.	3 (3.6)	Практическое занятие 6. Формирование анализов с компонентами разных типов (численный, вычисляемый, список) и спецификаций (числовых, текстовых) для конфигурирования ЛИМС	1
7.	4(4.3)	Практическое занятие 7. Решение задач синтеза ХТС с использованием декомпозиционных и эвристических методов и алгоритмов в детерминированных условиях	2
8.	5 (5.2)	Практическое занятие 8. Расчет показателей надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем при проектировании химических производств	2
9.	5 (5.2)	Практическое занятие 9. Расчет показателей надежности резервированных систем на примерах установок химических производств	2
10.	5 (5.3)	Практическое занятие 10-11. Расчет показателей надежности химико-технологических систем с использованием структурных, логико-вероятностных, вероятностных методов, а также методов «путей и сечений»	4
11.	5 (5.3)	Практическое занятие 12. Моделирование состояний резервированных восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем с использованием марковских случайных процессов	2
12.	5 (5.4)	Практическое занятие 13. Изучение особенностей рассеяния легких и тяжелых газов при авариях с разрушением оборудования с опасными химическими веществами при	4

		проектировании химических производств	
13.	5 (5.5, 5.6)	Практические занятия 14-15. Расчет основных поражающих параметров (избыточного давления и импульса во фронте ударной волны), и зон поражения и разрушения при авариях со взрывами на типовом оборудовании и установках химических производств с использованием детерминированного и вероятностного подходов. Расчет основных поражающих факторов пожаров на опасных производственных объектах	4
14.	7.4, 7.5	Практическое занятие 16. Разработка алгоритма логического управления для многостадийного технологического процесса	6
15.	8.1	Практическое занятие 17. Использование эвристических методов принятия решений для сравнения и выбора альтернативных вариантов при проектировании химических производств	2
16.	8.3	Практическое занятие 18. Использование метода анализа иерархий для решения многокритериальных задач при проектировании химических производств	2

6.2 Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами», а также дает знания об использовании специализированного программного обеспечения для решения задач проектирования и управления химическими производствами.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 60 баллов (максимально по 4-15 баллов за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1	3.6	Изучение основных функциональных возможностей по регистрации образцов химической продукции, назначению испытаний по контролю качества продукции, вводу исходных данных и анализу полученных результатов с использованием учебной лабораторной информационной менеджмент системы (ЛИМС) контроля качества нефтепродукции	2 часа
2	3.6	Разработка лабораторной информационной менеджмент системы заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6	4 часа
3	4.2, 4.4	Использование специализированного программного обеспечения для решения задач структурного и структурно-параметрического синтеза ХТС	4 часа
4	5.2	Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом надежности типового	2 часа

		оборудования. Расчет показателей надежности систем с последовательно-параллельными, резервированными и комбинированными структурами различными методами.	
5	5.3, 2.4, 5.2	Использование специализированного программного обеспечения для выбора оборудования и проектирования химических производств с учетом надежности элементов и компонентов технических систем.	8 часа
6	5.4,5.5,5.6,5.7	Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом требований промышленной безопасности для анализа последствий аварий с выбросами, взрывами и пожарами на опасных производственных объектах химической и смежных отраслей промышленности	8 часов
8	7.3,7.4,7.5	Моделирование алгоритмов логического управления с использованием специализированного программного обеспечения	6 часов

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студента в объёме 42 часов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- подготовку к сдаче экзамена.

При изучении части дисциплины в рамках онлайн-курса – подготовка к тестам промежуточного и итогового контроля знаний по разделам дисциплины, осваиваемой в режиме онлайн.

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 лабораторных работ (60 баллов):

- Лабораторная работа №1 (раздел 3) – 4 балла;

- Лабораторная работа №2 (раздел 3) – 9 баллов;
- Лабораторная работа №3 (раздел 4) – 8 баллов;
- Лабораторная работа №4 (раздел 5) – 8 баллов;
- Лабораторная работа №5 (раздел 5) – 9 баллов;
- Лабораторная работа №6 (раздел 5) – 16 баллов;
- Лабораторная работа №7 (раздел 7) – 7 баллов;
- и итогового контроля в форме экзамена – 40 баллов.

8.1. Примеры тем лабораторных работ для текущего контроля освоения дисциплины

Раздел 3.

Лабораторная работа 1. Изучение основных функциональных возможностей по регистрации образцов химической продукции, назначению испытаний по контролю качества продукции, вводу исходных данных и анализу полученных результатов с использованием учебной лабораторной информационной менеджмент системы (ЛИМС) контроля качества нефтепродукции. Максимальная оценка – 4 балла.

Лабораторная работа 2. Разработка лабораторной информационной менеджмент-системы заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6. Максимальная оценка – 9 баллов.

Раздел 4.

Лабораторная работа 3. Использование специализированного программного обеспечения для решения задач структурного и структурно-параметрического синтеза ХТС. Максимальная оценка – 8 баллов.

Раздел 5.

Лабораторная работа 4. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом надежности типового оборудования. Расчет показателей надежности систем с последовательно-параллельными, резервированными и комбинированными структурами различными методами. Максимальная оценка – 9 баллов.

Лабораторная работа 5. Использование специализированного программного обеспечения для выбора оборудования и проектирования химических производств с учетом надежности элементов и компонентов технических систем. Максимальная оценка – 8 баллов.

Лабораторная работа 6. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом требований промышленной безопасности для анализа последствий аварий с выбросами, взрывами и пожарами на опасных производственных объектах химической и смежных отраслей промышленности.

Максимальная оценка – 16 баллов.

Раздел 7.

Лабораторная работа 7. Моделирование алгоритмов логического управления с использованием специализированного программного обеспечения. Максимальная оценка – 7 баллов.

8.2. Примеры типовых заданий на лабораторные работы

Лабораторная работа 1. «Изучение основных функциональных возможностей по регистрации образцов химической продукции, назначению испытаний по контролю качества продукции, вводу исходных данных и анализу полученных результатов с использованием учебной лабораторной информационной менеджмент системы контроля качества нефтепродукции».

Цель работы: изучить основные функциональные возможности учебной лабораторной информационной менеджмент системы контроля качества

нефтепродукции по регистрации образцов, назначению анализов (испытаний), вводу и корректировке результатов испытаний.

Лабораторная работа выполняется каждым студентом индивидуально или группой студентов, состоящей из 2-3 человек. Работа выполняется с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6. Ниже приведён общий порядок действий студентов при выполнении лабораторной работы № 1. В соответствии с вариантом задания, приведенным в таблице 1, студенты необходимо:

- 1) Зарегистрировать в ЛИМС три образца нефтепродукта;
- 2) Для приобретения навыков работы с системой на примере одного из образцов проводится:
 - изучение возможностей удаления анализов (испытаний);
 - добавление анализов (испытаний);
 - удаление всех анализов для образца;
 - добавление списка анализов для фракции 120-180 °С;
 - добавление любого анализа ещё раз (для создания реплики анализа (повторного измерения));
 - удаление повторного анализа.
- 3) Ввести результаты для образца, на который назначены анализы (испытания). Обратить внимание на допустимые пределы результатов анализов (пределы спецификаций).
- 4) Изучить функции пересмотра образцов, анализов, результатов.
- 5) Изучить возможности ЛИМС по настройке бизнес-правил для пересмотра.
- 6) Изучить возможные действия после пересмотра.

Таблица 1 – Варианты заданий на лабораторную работу №1

№ п/п	Название нефтепродукта	Шаблон	Удаляемый /Добавляемый анализ	Название анализа в системе / Результаты анализов		
				ФР_СОСТАВ_ТТ	МЕД_ПЛАС	ПЛОТНОСТ
1	Фракция 62-85°C	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Октановое число по моторному методу/ Октановое число, расчетный метод	ФР_СОСТАВ_ТТ : Температура начала кипения - 54°C; Температура конца кипения - 98°C	МЕД_ПЛАС : Цвет – Блестяще черный	ПЛОТНОСТ Б_15: 755 кг/м³ и 760 кг/м³
2	Фракция 85-120°C	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 15°C / Плотность при 20°C	ФР_СОСТАВ_ТТ : Температура начала кипения - 96°C; Температура конца кипения - 145°C.	МЕД_ПЛАС : Цвет – Светло-оранжевый	ПЛОТНОСТ Б_20: 748 кг/м³ и 750 кг/м³
3	Фракция 120-180°C	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Содержание серы / Испытание на медной пластинке	ФР_СОСТАВ_ТТ : Температура начала кипения - 108°C; Температура конца кипения -	МЕД_ПЛАС : Цвет – Темно-красный	ПЛОТНОСТ Б_15: 760 кг/м³ и 763 кг/м³

№ п/п	Название нефтепродукта	Шаблон	Удаляемый /Добавляемый анализ	Название анализа в системе / Результаты анализов		
				187°C.		
4	Фракция 150-250°C	ЛЕГКИЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 20°C / Плотность при 15°C	ФР_СОСТАВ_ТТ ТТ: Температура начала кипения - 152°C; 98% перегоняется при температуре – 250°C	МЕД_ПЛАС : Цвет – Многоцветный	ПЛОТНОСТЬ_15: 763 кг/м³ и 765 кг/м³
5	Фракция 240-350°C	ТЯЖЕЛЫЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 15°C / Плотность при 20°C	ТЕМП_ВСПЫШКИ_3: Температура вспышки в закрытом тигле – -64°C	МЕД_ПЛАС : Цвет – Светло-оранжевый	ТЕМП_ЗАСТЫВАНИЯ : Температура застывания – -10°C
6	Фракция до 350°C	ТЯЖЕЛЫЕ ФРАКЦИИ	Содержание серы, %об / Массовая доля серы, %масс.	ФР_СОСТАВ_ТП: 95% перегоняется при температуре –360°C	МЕД_ПЛАС : Цвет – Темно-красный	ТЕМП_ЗАСТЫВАНИЯ : Температура застывания, – -6°C
7	Гудрон	ТЯЖЕЛЫЕ ФРАКЦИИ	Плотность при 20°C / Плотность при 15°C	ТЕМП_РАЗМ: Температуразмягчения по КиШ – 27°C Температура вспышки в открытом тигле – 250°C	ТЕМП_ВСПЫШКИ_О:	ПЛОТНОСТЬ_15: 980 кг/м³ и 982 кг/м³

Лабораторная работа 2. «Разработка лабораторной информационной менеджмент-системы заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6».

Цель работы: разработать ЛИМС заданной функциональности с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6. ЛИМС должна обеспечивать регистрацию образцов (ввод необходимой информации об образце), назначение необходимых анализов (испытаний), ввод результатов, проверку результатов на соответствие нормативным документам и пределам измерений.

Лабораторная работа выполняется каждым студентом индивидуально или группой студентов, состоящей из 2-3 человек. Ниже приведён общий порядок действий студентов при выполнении лабораторной работы № 2.

1. Создание анализов (испытаний) с разными типами компонентов (численный, текст, список и вычисляемый):

1.1 В соответствии с таблицей 2 создать анализы (испытания) для контроля качества фракции 85-120 °C.

1.2 Создать анализ «ПЛОТНОСТЬ_15_1» с тремя компонентами: 2 компонента (Плотность1 и Плотность 2) – значения плотностей (результатов 2 повторных измерений плотности) и 1 компонент (Средняя плотность) - среднее значение плотности.

Таблица 2 – Исходные данные для формирования анализов для контроля качества фракции 85-120 °C в LabWare LIMS

№ п/п	Название (Name) и описание	Группа анализов (Common Name)	Тип анализа (Analysis Type)	Название, отображаемое в отчете (Reported Name)	Компонент анализа	Тип компонента	Свойства компонента					
							Единицы измерения	Число реплик	Тип вычислительной функции (расчетное соотношение)	Число зн. после запятой	Верхняя и нижняя граница результата	Может ли быть введен результат вне пределов
1	ФР_СОСТАВ2 По ГОСТ 2177-99 или ASTM Д 86	ФР_СОСТАВ_НП	PHYS-CHEM	Фракционный состав	Температура начала кипения	Численный	°C	1		0		
					Температура конца кипения	Численный	°C	1		0		
					Выход	Численный	% об.	1		0	0-100	False
					Остаток в колбе	Численный	% об.	1		0	0-100	False
2	МЕД_ПЛ По ГОСТ 6321-92	МЕД_ПЛ_НП	VISUAL	Испытание на медной пластинке	Цвет	Список 1) Светло-оранжевый 2) Темно-оранжевый 3) Темно-красный 4) Бледно-лиловый 5) Серебристый 6) Многоцветный с красным или зеленым оттенком (переливчатый), но не серый 7) Цвет графита или тускло-черный						
					Наличие налета	Список ДА НЕТ						
					Заключение	Список Выдерживает Не выдерживает						
3	ПЛОТНОСТЬ_15 По ГОСТ Р 51069-97	ПЛОТНОСТЬ	PHYSICAL	Плотность при 15°C	Плотность	Численный	г/см³	2		1		True
					Средняя плотность	Вычисляемый	г/см³		AVE (среднее значение)	1		True

1.3. Зарегистрировать образец фракции 85-120 °С, назначить анализы «МЕД_ПЛ», «ФР_СОСТАВ_2» и «ПЛОТНОСТЬ_15_1», ввести результаты и проверить работу.

1.4. Создать анализ «ПЛОТНОСТЬ_15» с двумя компонентами: 1 компонент (Плотность) – значение плотности, но с 2 репликами, и 1 компонент (Средняя плотность) – среднее значение плотности (см. таблицу 2).

1.5. Зарегистрировать образец, назначить анализ «ПЛОТНОСТЬ_15», ввести результаты и проверить работу.

2. Создание спецификаций продуктов (численных и текстовых), текстовых индикаторов и шаблонов регистрации образцов.

2.1. Создать список анализов «Фракция_85-120°C». Добавить в этот список созданные в соответствии с таблицей 2 анализы:

- ФР.СОСТАВ2 (определение фракционного состава фракции);
- МЕД_ПЛ (испытание на медной пластинке);
- ПЛОТНОСТЬ_15 (определение плотности при 15 °С).

2.2. В соответствии с таблицей 3 создать продукт «ТЯЖЕЛЫЕ_ФРАКЦИИ».

Таблица 3 – Сорта продукта «ТЯЖЕЛЫЕ_ФРАКЦИИ» и точки отбора проб

Сорт продукта	Точка отбора пробы
Фракция 240-350°C	На выходной эстакаде после Т-44
Фракция до 350°C	Выкидной трубопровод насоса Н-36/1,2
Фракция 350-420°C	На выходной эстакаде фр.350-420°C

2.3. Каждой фракции назначить список анализов (испытаний), созданный для фракции 85-120°C.

2.4. В соответствии с таблицей 4 для каждой фракции внести пределы спецификаций для соответствующих анализов. В качестве значения поля Stage использовать NONE (т.е. данный уровень спецификации не используется).

Таблица 4 – Данные для создания спецификации

Сорт продукта	Анализ	Компонент анализа	Значение компонента анализа по спецификации
Фракция 240-350°C	ФР_СОСТАВ2	Температура конца кипения	≤ 360°C
		Заключение	Выдерживает
	МЕД_ПЛ	Цвет	Светло-оранжевый или темно-оранжевый
		Наличие налета	Нет
Фракция до 350°C	ФР_СОСТАВ2	Температура конца кипения	≤ 360°C
Фракция 350-420°C	ФР_СОСТАВ2	Температура начала кипения	≥ 220°C
		Температура конца кипения	≤ 525°C

2.5. Создать текстовый идентификатор для образцов тяжелых фракций ID_FOR_FRACTION, с полями:

Порядковый номер образца – сорт продукта – дата регистрации

Sample Number – Product Grade – Login Date

2.6. Создать шаблон для регистрации образцов тяжелых фракций.

2.6.1. Параметры настройки 1-го слоя (уровня) конфигурации шаблона для регистрации образцов тяжелых фракций:

Название шаблона: ТЯЖЕЛЫЕ_ФРАКЦИИ;

Описание: Шаблон для регистрации фракций 240 – 420°C;

Статус при создании образца: Incomplete (Незавершён). Возможные статусы образцов в системе: Не получен (не доставлен в лабораторию), Незавершён (результаты не введены), В процессе (не все результаты введены), Завершен (все результаты введены), Авторизован (все результаты утверждены), Забракован, Отменен (не требуется).

Идентификатор: ID_FOR_FRACTION;

После регистрации образца необходимо открыть редактор назначения анализов и ввода результатов;

Анализы назначаются автоматически из спецификаций.

2.6.2. Параметры настройки 2-го слоя (уровня) конфигурации шаблона для регистрации образцов тяжелых фракций приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры настройки 2-го слоя конфигурации шаблона для регистрации образцов тяжелых фракций

Поле	Свойства				
	Название поля в шаблоне, которое видит пользователь	Режим ввода данных для поля	Тип поля	Значение по умолчанию при открытии шаблона	Список полей, от заполнения которых может зависеть доступность поля для ввода
Assigned Operator	Оператор	Вводится пользователем	Текст	&USER	
Product	Продукт	Обязательное	Список		
Product Grade	Сорт продукта	Обязательное	Список		Product
Sampling Point	Точка отбора	Обязательное	Список		
Due Date	Дата/время отбора	Обязательное	Date Time	1c	

2.7. Зарегистрировать образцы фракций 240 – 420°C, через соответствующий шаблон и ввести результаты испытаний. Проверить пределы спецификаций.

2.8. Открыть шаблон регистрации тяжелых фракций и добавить в TEST_LIST список анализов такой же, как и для фракции 85-120°C.

Лабораторная работа 3. Использование специализированного программного обеспечения для решения задач структурного и структурно-параметрического синтеза ХТС

1. На основе технологического регламента одного из продуктов подготовить исходную информацию для машинного расчета: разработать фрагмент принципиальной структуры индивидуального производства заданной производительности 8 т/год. Подготовка исходных данных включает расчет соотношения потоков по стадиям и определение недостающих плотностей реакционной массы.

2. Подобрать оборудование для синтеза индивидуальной и многоассортиментной ХТС выбирается из стандартных рядов оборудования (см. каталоги оборудования на сайте <http://cis.muctr.ru/alk/>) и на предприятиях-производителях и дистрибьютеров оборудования.

3. С использованием специализированного программного комплекса SofCes необходимо выполнить расчет индивидуального производства продукта.

Плановый срок выпуска:

- 1) 305 рабочих дней по 24 часа в сутки;
- 2) 305 рабочих дней по 16 часов в сутки.

При технологических стадиях большей продолжительности возможен кратковременный переход на круглосуточную работу предприятия. Длительности технологических стадий определяются на основе регламента.

4. В результате расчета индивидуального производства необходимо определить все допустимые диапазоны размеров партии, обеспечивающие наиболее эффективное использование оборудования (по коэффициентам заполнения) и провести исследование во всех допустимых диапазонах изменения размеров партий продукта.

5. После проверки результатов машинного расчета индивидуальной ХТС в программном комплексе SofCes преподавателем выдается задание из технологического регламента для подготовки исходных данных и выполнения машинного расчета принципиальной структуры ХТС для выпуска двух продуктов.

В результате расчета многоассортиментного производства двух продуктов необходимо определить все допустимые диапазоны размеров партии, обеспечивающие наиболее эффективное использование оборудования.

6. После проверки результатов машинного расчета в программном комплексе SofCes преподавателем выдается задание с исходными данными для исследования двух способов наработки ассортимента:

- последовательный в полном объеме;
- циклический (выполняется в программном комплексе I2S).

Необходимо определить наиболее эффективный способ организации выпуска двух продуктов.

7. По заданию преподавателя отдельные машинные расчеты проверяются ручным расчетом. Обобщение результатов, составление сравнительных таблиц, формирование выводов.

8. Оформление отчета. Сдача на предварительную проверку.

9. Защита отчета.

Лабораторная работа 4. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом надежности типового оборудования. Расчет показателей надежности систем с последовательно-параллельными, резервированными и комбинированными структурами различными методами.

Работа включает комплекс заданий расчета надежности различных структур различными методами. Примеры некоторых из заданий представлены ниже.

Часть 1. «Построение деревьев отказов произвольных структур и исследование надежности мостовых структур с использованием специализированного программного приложения»

Общее задание

Провести расчет мостиковой структуры с 8 элементами, горизонтальная структура всеми методами, исходные данные задаются по вариантам.

1. Провести расчет мостиковой структуры с 8 элементами, вертикальная структура всеми методами, исходные данные задаются по вариантам.
2. Провести сравнительный анализ результатов п.1 и 2.
3. Провести ознакомительный расчет для горизонтальной мостиковой структуры с 11 элементами. Сравнить с п.1.
4. Выполнить индивидуальное задание преподавателя.
5. Сделать сравнительные выводы по работе.

Пример варианта к п.1., часть 1.

- 1) Для горизонтальной структуры задаются вероятности отказов.

$$Q_{1.1}=Q_{1.2}=0.01$$

$$Q_1=0.1$$

$$Q_{2.1}=Q_{2.2}=0.005$$

$$Q_2=0.3$$

$$Q_{3.1}=Q_{3.2}=0.02$$

- 2) Для вертикальной структуры берутся такие же значения, но элементы расположены по-другому.
- 3) Для 11 элементов, горизонтальная структура

$$Q_3=0.5$$

$$Q_{4.1}=Q_{4.2}=0.05$$

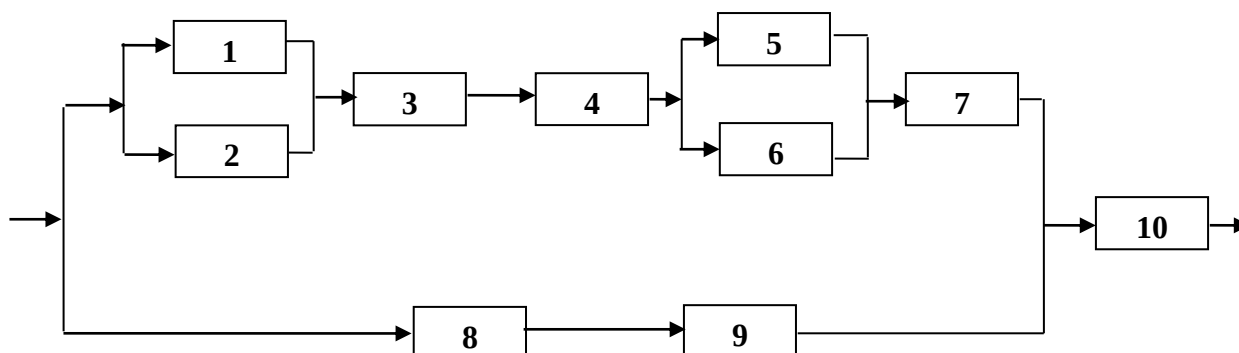
Часть 2

“Расчет последовательно-параллельных структур и комбинированных структур с использованием специализированного программного обеспечения”

2024/2025 учебный год

Вариант № 1

- 1) С использованием программного приложения, определить вероятность безотказной работы системы в течение 1000 часов.



Исходные данные определяются на основе вероятностей безотказной работы элементов на момент времени 1000 часов. Связь между вероятностью безотказной работы и интенсивностью отказа – экспоненциальная.

Интенсивности отказов элементов:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_5 = \lambda_6 = 0,0015 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_7 = 0,0001 \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_8 = \lambda_9 = 0,0004 \text{ ч}^{-1}$$

$$\lambda_{10} = 0,0003 \text{ ч}^{-1}$$

Сравнить с результатом контрольной работы.

2. С использование программного приложения провести расчет двух модифицированных структур:
 - Добавить в исходной структуре элементы 11 и 12 последовательно к элементу 9. Интенсивность отказа элементов 11 и 12: $0,0004 \text{ ч}^{-1}$
 - Убрать из исходной структуры элементы 2 и 6.
3. Сделать сравнительные выводы с п.1.
4. Индивидуальное задание по комбинированной структуре выдается преподавателем на занятии в зависимости от полученных результатов.
5. Выводы по работе.

Часть 3. Расчеты комбинированных структур различными методами

1. Выполнить расчет структуры с перемычками. Вероятности отказов взять из вариантов, часть 1:
для элементов $Q1.1=Q1.2$; $Q2.1=Q2.2$;
для перемычек $Q1$ (мостик 1) $=Q3$ (перемычка вверх); $Q2$ (мостик 2) $=Q4$ (перемычка вниз).
2. Рассчитать разветвленную структуру в программном приложении всеми методами. Исходные данные взять из варианта, часть 1. Принять, $Q1.1=Q1.2=Q1.3$; $Q2.1=Q2.2$. Сравнить между собой полученные результаты и с п.1 по вероятности отказа.
3. Выполнить один из вариантов расчета следующей комбинированной структуры. Определить вероятность безотказной работы. Варианты комбинаций выдаются преподавателем на занятии:
 - А) Разветвленная по худшему значению по вероятности безотказной работы, элемент 6 последовательно ($P6=0.8$), структура с перемычкой.
 - В) Элемент 1 ($P1=0.6$), структура с перемычкой, далее 2 параллельных элемента ($Pi=0.9$)
 - С) Мостиковая горизонтальная из 8 элементов по худшему значению, далее последовательный элемент ($P=0.75$), далее структура с перемычкой.
 - Д) Структура с перемычкой и параллельным к ней элементом 7 ($P7=0.9$), далее последовательный элемент 8 ($P8=0.95$), далее разветвленная структура по худшему значению по вероятности безотказной работы.
 - Е) Мостиковая вертикальная структура по лучшему значению по вероятности безотказной работы, далее последовательный элемент 9 ($P9=0.85$), далее разветвленная структура по лучшему значению по вероятности безотказной работы.
Сделать вывод по полученным результатам.
4. Выводы по работе.

Часть 4. Расчет систем с резервированием с использованием универсального или специализированного программного обеспечения.

1. Определить вероятность безотказной работы системы, включающей три элемента в следующих случаях:

а) Система имеет нагруженный резерв. Все элементы начинают работать одновременно. Вероятность безотказной работы элементов подчиняется экспоненциальному закону. Интенсивности отказов всех элементов $\lambda_1=0.00025 \text{ ч}^{-1}$. Временной интервал 1200 часов.

б) Система имеет ненагруженный резерв, элементы работают в следующем режиме:

первый работает 250 часов от начала эксплуатации;

второй работает 500 часов после замены первого;

третий работает до конца исследуемого временного интервала.

Среднее время подключения элементов второго и третьего 10 часов. Вероятность безотказной работы элементов подчиняется экспоненциальному закону. Интенсивности отказов всех элементов одинаковы и равны $0,00025 \text{ ч}^{-1}$.

в) Система имеет облегченный резерв, при этом элементы первый и второй работают при пониженной нагрузке 0,9 от номинальной с интенсивностью $\lambda_1=0.000225 \text{ ч}^{-1}$. Элементы начинают работать одновременно. Третий элемент отказывает через 450 ч, второй – через 850 ч, первый – через 1100 ч.

г) Сравнить надежности трех систем.

2. Провести варьирование аналогичных режимов работы элементов (см.п.а)) в диапазоне времени до 4800 часов с шагом 600 часов и варьирование нагрузки (см.п.в)) соответствующих элементов в диапазоне от 0,5 до 0,85 от номинальной.

3. Построить графики функций вероятности безотказной работы системы $P(t)$ в течение времени t и шагам из п.2. (при необходимости корректируется преподавателем).

4. Сделать выводы по полученным результатам.

Все части работы оформляются в один отчет.

Лабораторная работа 5. Использование специализированного программного обеспечения для выбора оборудования и проектирования химических производств с учетом надежности элементов и компонентов технических систем.

Работа выполняется на примере одной из единиц технологического оборудования – трубопроводной арматуры или насосов.

Вариант № 1

Насос K150-125-400 центробежный консольный типа К используется для обогрева калориферов, температура указана на выходе.

1) Необходимо проверить, подойдет ли данный насос для установки перекачки нефтепродуктов. Для него используются следующие значения коэффициента кавитации (K_c) и коэффициента критического перепада давления (K_m):

$$K_c = 0,2;$$

$$K_m = 0,1$$

Расчёт ведётся при линейной пропускной характеристики (коэффициенты запаса по пропускной способности): $N_1=0,6$; $N_2=0,92$.

Диаметры сечения патрубка на выходах из конфузора и диффузора принять равными 0,125 м. Их углы 70° .

Таблица 1 – Исходные данные

Наименование параметра	Значения параметров режимов эксплуатации
Наименование рабочей среды	Товарная нефть
Абсолютное давление насыщенных паров рабочей среды при температуре на входе, МПа	0,066 (при температуре 45°C)
Плотность среды при рабочих условиях, кг/м ³	865
Коэффициент кинематической вязкости при температуре среды на входе, м ² /с	150 · 10 ⁻⁶
Массовый расход, кг/с	55
Максимальный массовый расход по технологическому регламенту, кг/с	110
Абсолютное давление на входе в, МПа	0,343
Минимальный перепад давления на, МПа	0,05
Абсолютное давление, МПа	0,101325
Диаметр трубопровода, на котором устанавливается, м	0,15
Шероховатость внутренней стенки трубопровода, м	6 · 10 ⁻⁴
Номинальный диаметр арматуры, м	0,4
Условная пропускная способность, м ³ /ч	400

Таблица 2 – Номинальные диаметры рабочего колеса и их условная пропускная способность

- 2) Необходимо провести оценку надёжности выбранного насоса тремя методами: структурным, по критериям отказов и через вероятность неразрушения.

а) определить вероятность безотказной работы насоса **структурным методом** в

Номинальный диаметр, мм	Kvy, м³/ч	Соответствующие значения коэффициентов кавитации
159	93,5	0,4
147	86,6	0,4
203	100	0,4
190	93,8	0,4
177	87,2	0,4
255	100	0,4
239	93,5	0,4
221	86,6	0,4
315	100	0,4
301	95,5	0,4
216	200	0,3
203	187	0,3
255	200	0,3
239	187	0,3
317	200	0,3
303	191	0,3
260	200	0,3
243	187	0,3
225	173	0,8
325	200	0,3
304	187	0,3
282	173	0,3
400	200	0,3
375	187	0,3
275	400	0,3
257	374	0,3
348	400	0,2
326	374	0,2
395	400	0,2
371	374	0,2
342	346	0,2

течение гарантийного срока 1 год (8760 ч), гарантийная наработка 35000 циклов при гарантийном сроке 1 год, время совершения одного цикла $t_{ц} = 900$ с, время, когда устройство открыто принять равным 60 с. Насос разбит на узлы (таблица 3), соединённые последовательно.

Таблица 3 – Данные для расчёта безотказной работы структурным методом

Наименование элементов и узлов		$P(t)$	$\lambda'_i = \beta_1 m \lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$, 1/час
Узел А.			
1.	Рабочее колесо	0,9995	
2.	Торцевое уплотнение		0,02 (t1)
3.	Корпус		1,1 (t2)

4	Крышка	0,9995	
5.	Вал насоса	0,9995	
Узел Б.			
1.	Гайка рабочего колеса	0,9995	
2.	Шайба стопорная	0,9995	
3.	Уплотняющее кольцо		0,02 (t3)
4.	Крышка торцевого уплотнения	0,9995	

б) определить вероятность безотказной работы насоса методом **по критериям отказов** в течение назначенного ресурса 8760 ч (35000 циклов), время совершения одного цикла $t_{ц} = 900$ с. Процентное закрытие затвора (50%). Учтены отказы: негерметичность затвора, негерметичность по отношению к внешней среде и отсутствие рабочих перемещений. Коэффициент, учитывающий условия эксплуатации принять равным 5, уплотнение торцевое – 5 комплектов (используются не сразу все), уплотнение кольцевое – 2, остальное в количестве 1 шт.

Характеристика отказов для элементов, указанных в таблице 2, выглядит следующим образом:

Негерметичность по отношению к внешней среде:

- Торцевое уплотнение;
- Уплотняющее кольцо.

Негерметичность затвора:

- Корпус;
- Крышка;
- Крышка торцевого уплотнения.

Отсутствие рабочих перемещений:

- Рабочее колесо;
- Вал насоса;
- Гайка рабочего колеса;
- Шайба стопорная.

в) определить вероятность безотказной работы насоса методом **через вероятность неразрушения**, дополнительной деталью считать вал насоса (таблица 4).

Таблица 4 – Данные для расчёта безотказной работы через вероятность неразрушения

Наименование детали и напряжения	Расчетное напряжение, кгс/см ²	Допускаемое напряжение, кгс/см ²
РАБОЧЕЕ КОЛЕСО (в программе ФЛАНЕЦ)ф		
Осевые напряжения	725	1450
Радиальные напряжения	725	1450
Кольцевые напряжения	725	1450
КОРПУС		
Приведенное напряжение на внутренней поверхности	1000	1450
КРЫШКА		
Напряжение в средней части крышки	1000	1450

ВАЛ		
Максимальное напряжение в центре	1000	1370

Коэффициенты вариации расчётных и допустимых напряжений принять равными 0,12 и 0,2 соответственно. Параметры функционирования приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные для расчёта безотказной работы по параметрам функционирования

Параметр функционирования	Среднее значение параметра y_i	Ограничения параметра (y^B, y^H)
Герметичность в затворе	35 см ³ /мин	$y^B=120$ см ³ /мин $y^H=20$ см ³ /мин
Давление открытия клапана	40 см ²	$y^B=180$ кгс/см ² $y^H=50$ кгс/см ²
Коэффициент гидравлического сопротивления	1,35	$y^B=2$ $y^H=0,7$

- 3) Сравнить рассчитанные значения вероятностей безотказной работы тремя методами.
- 4) Сделать выводы.

Лабораторная работа 6. Использование специализированного программного обеспечения для проектирования химических производств с учетом требований промышленной безопасности для анализа последствий аварий с выбросами, взрывами и пожарами на опасных производственных объектах химической и смежных отраслей промышленности.

Работа включает 2 или 3 части. Части 1 и 2 выполняются всеми студентами в обязательном порядке. Часть 3 выполняется студентами, которые не выполняли в бакалавриате аналогичную работу. Если студенты выполняли в бакалавриате аналогичную работу, они выполняют индивидуальное задание по заданию преподавателя.

Часть 1. Моделирование выбросов опасных веществ и оценка последствий химических аварий с использованием специализированного программного обеспечения.

Вариант 10

1. С использованием программного комплекса $TOXI^{+Risk}$ 5 провести моделирование и оценку последствий аварийного выброса при разрушении резервуара с газообразным аммиаком, находящегося под давлением, расположенного на территории НАК «Азот».

Исходные данные

Характеристики источника загрязнения:

Масса аммиака в хранилище – 50 т;
Давление – 6 кгс/см²;
Температура хранения – (-33)°C;

Метеоусловия:

Атмосферное давление – 1,0133 бара;

Температура воздуха – 25°C;

Время суток – день;

Интенсивность солнечного излучения – 400 Вт/м²

Скорость ветра: 1,0; 7,5 м/с (задание выполняется для каждого из значений скорости ветра);

Категории устойчивости атмосферы: определить из справочной информации;

Подстилающая поверхность – центры малых городов.

2. Провести моделирование по методике ТОКСИ-3, варьируя для каждой скорости ветра категории устойчивости атмосферы (см. справочную информацию). Определить наиболее опасные метеоусловия, при которых концентрация ОВ превышает ПДК_{р.з.нпз} = 20 мг/м³ на расстояниях, соответствующих производственной площадке, а также пороговые и/или смертельные токсодозы.
3. Результаты моделирования свести в таблицу и сделать промежуточные выводы о влиянии метеоусловий на значения концентраций и длины зон загрязнения и заражения по пороговым и/или смертельным токсодозам в результате аварийного выброса при разрушении хранилища с ОВ.
4. Используя функцию «Виртуальные датчики», провести установку 3-4 датчиков на производственной площадке, получить графические зависимости концентраций в заданных точках при различных метеоусловиях. Сделать выводы по полученным результатам.
5. Ручным расчетом по заданию преподавателя проверить некоторые полученные значения.
6. Сделать обобщающие выводы по работе.

Часть 2. Моделирование последствий взрывов топливно-воздушных смесей и пожаров при авариях на типовом оборудовании химически опасных объектов с использованием программного комплекса ТОХИ+^{Risk}

1. С использованием программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} версии 5 учебная (модуля **ВЗРЫВ ТВС**) рассчитать последствия взрыва емкости с жидким веществом:

- Вещество: винилхлорид
- Концентрация горючего, кг/м³: равна стехиометрической.
- Объем вещества, м³: 200
- Давление в оборудовании: 1,1 атм.,
- Температура в оборудовании, °C: 20

Рассчитать:

а) с помощью функции «Расчет взрывоопасной массы» модуля «ТОКСИ» массу опасного вещества, участвующего во взрыве и границы зон 0,5 НКПВ, НКПВ, ВКПВ, варьируя метеоусловия:

- Скорость ветра: 2 м/с.
 - Класс устойчивости атмосферы: А и F
 - Окружающее пространство: сильно загроможденное пространство
 - Тип местности: центры малых городов
 - Температура окружающего воздуха, °C 20
 - Температура поверхности местности, °C: 18
 - Параметры поверхности пролива: тип – асфальт; Т поверхности пролива 20 °C
- Определить наихудшие метеоусловия.

Далее все расчеты вести для полученных в п. а) взрывоопасных масс
б) размеры границ зон разрушения/поражения различной степени тяжести;
в) значения вероятностей разрушения/поражения (50%, 99%) на заданном расстоянии (50 м);

г) давление во фронте ударной волны и импульс фазы сжатия на заданных расстояниях от центра взрыва;

д) получить (построить) графические зависимости давления, импульса, вероятности поражения от расстояния;

Нанести на ситуационный план изолинии для зон разрушения/поражения.

2. С использованием программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} версии 5 учебная или выше (модуля **ВЗРЫВ ТНТ**) рассчитать размеры границ зон разрушения/поражения взрыва емкости с гетерогенным веществом (см. п.1) определяемые по формуле Садовского и через тротильный эквивалент для полупространства.

Нанести на ситуационный план изолинии для зон разрушения/поражения.

3. Произвести сравнительный анализ результатов расчетов, полученных в модулях **ВЗРЫВ ТВС и ВЗРЫВ** на расстоянии 50 м от источника аварии.

4. По заданию преподавателя ручным расчетом проверить правильность основных расчетных соотношений по взрыву топливо-воздушной смеси (ТВС) и тринитротолуола (ТНТ).

Сделать выводы и дать рекомендации по повышению уровня безопасности объекта.

5. С использованием модуля Пожарная безопасность технологических процессов (ПОЖАР) программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} версии 4.4.1 или выше:

- Определить зоны поражения от воздействия теплового излучения пожара «огненного шара»

- Рассчитать интенсивность теплового излучения на расстоянии 20м от места аварии и время существования «огненного шара»

- Нанести на ситуационный план зоны поражения при пожаре «огненного шара»

- Сделать выводы о тяжести последствий пожара

5. С использованием модуля Пожарная безопасность технологических процессов (ПОЖАР):

- Определить площадь пролива на неограниченную поверхность, исходя из объемов резервуаров

- Определить зоны поражения от воздействия теплового излучения возникшего пожара пролива

- Интенсивность теплового излучения и вероятность смертельного поражения на расстоянии 20м от пролива

- Расстояние от центра пролива, на котором вероятность смертельного поражения человека составляет 50%

Расчеты произвести по Методике определения расчетных величин пожарного риска в редакции (2010 г), реализованной в модуле.

6. Получить графические зависимости интенсивности излучения и вероятности смертельного поражения (пробит-функция) от расстояния.

7. Сделать выводы о тяжести последствий пожара.

8. Нанести на ситуационный план зоны поражения при пожаре пролива.

9. Проверить отдельные результаты расчетов вручную (по заданию преподавателя).

10. Сделать выводы

Исходные данные

Вещество: метиловый спирт

Объем вещества. м³: 25

Температура ОС – 20С

Скорость ветра – 1,3,5 м/с

Для пожара «огненного шара» массу образовавшихся паров принять как массу, участвующую во взрыве, определенную ранее (см. п.1).

Часть 3. Анализ-риска аварий на опасном производственном объекте с использованием специализированного программного обеспечения

Задание

На территории опасного производственного объекта расположены три аналогичных источника потенциальной опасности (табл. 1)

Таблица 1

Источники опасности

Оборудование	Вещество	Объём ЖФ ¹ , %	Давление, МПа абс.	Температура, °С
Цистерна для СУГ 15-1200-02	Пропан	80%	1,6	45
СУГ 50 Н1(СУГ 2400-1,6-50-Н1)	Пропилен	85%	0,8	90
Колонна отгонки легких фракций К-10	Керосин	80%	0,296	180

¹ Жидкая фаза

Метеоусловия: температура окружающего воздуха 10°С, скорость ветра 2 м/с, класс устойчивости атмосферы – С.

Учесть расчёт с коэффициентами защищённости людей и без:

- Токсическое воздействие;
- Поражение ударной волной;
- Поражение тепловым излучением

Учесть отражение облака от поверхности земли.

В зону аварии могут попасть следующие лица:

1. Персонал объекта:

1) Административное здание. Число одновременно находящихся сотрудников – 40 чел. Режим работы – 8-ми часовая 5-дневная рабочая неделя.

2) Периметр завода. Число одновременно находящихся сотрудников – 18 чел. Режим работы – сутки через двое. Число бригад работников – 3.

3) Ремонтные мастерские. Число сотрудников – 50 чел. Режим работы – 8-ми часовая 5-дневная рабочая неделя.

II. Третьи лица:

Общежитие. Число жителей – 200 чел.

При расчетах для:

- Цистерна для СУГ 15-1200-02 использовать дерево исхода - частичное разрушение с ГЖ;
- СУГ 50 Н1(СУГ 2400-1,6-50-Н1) использовать дерево исхода - частичное разрушение с ГЖ;
- Колонны отгонки легких фракций К-10 резервуар использовать дерево исхода - частичное разрушение с ГЖ;

Используя вышеуказанные данные и типовые деревья развития опасных ситуаций необходимо:

- 1) построить поле потенциального риска на территории предприятия и за его пределами (загромождение пространства принять как сильное);
- 2) определить показатели пожарного риска для персонала объекта и третьих лиц.
- 3) определить наиболее вероятные и худшие сценарии по вероятности (или частоте);
- 4) определить возможные количества пострадавших и погибших в результате аварии и худшие сценарии по последствиям;
- 5) получить F/N диаграммы для персонала и третьих лиц;
- 6) получить F/P диаграмму;
- 7) получить F/Q диаграмму;
- 8) сделать содержательные, сравнительные выводы по работе.

Лабораторная работа 7. Моделирование алгоритмов логического управления с использованием специализированного программного обеспечения.

1. На основе регламента составить технологическую схему совмещенного производства с указанием необходимых контрольно-измерительных средств и регулирующих органов.

2. Рассчитать время протекания процесса по отдельным стадиям и построить диаграмму Ганта.

3. Разработать и построить сеть Петри с входами и выходами.

4. Реализовать систему логического управления с использованием проблемно-ориентированной программы моделирования сетевых систем (HPSim Version: 1.1).

Объектом исследования являются процессы производства неорганических реактивов: гидроксида бария ($\text{Ba}(\text{OH})_2$), карбоната бария (BaCO_3).

Производство $\text{Ba}(\text{OH})_2$

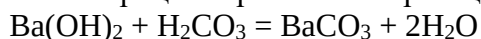
$\text{Ba}(\text{OH})_2$ реактивный получают путем очистки гидроксида бария технического от примесей. Способ очистки – кристаллизация. Производство включает в себя следующие стадии:

- растворение гидроксида бария технического;
- фильтрация полученного раствора;
- кристаллизация;
- центрифугирование;
- сушка;
- фасовка готовой продукции.

На стадии центрифугирования происходит разделение материального потока на два: первый идет на получение товарного гидроксида бария; второй – направляется на стадию карбонизации для получения бария углекислого.

Производство бария углекислого

Барий углекислый реактивный получают карбонизацией раствора гидроксида бария газообразной углекислотой. Процесс протекает по реакции:



и включает в себя следующие стадии:

- получение гидроксида бария полуфабриката;
- карбонизация;
- промывка и отжим пасты;
- сушка;
- фасовка готового продукта.

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (экзамен)

Экзаменационный билет включает 3 теоретических вопроса, оцениваемых в зависимости от уровня сложности.

1. Процесс проектирования химического производства как объект автоматизации. Необходимость создания компьютерных систем проектирования химических производств.

2. Методологические основы проектирования химических производств. Основные понятия и определения: проект, проектирование, проектная операция, проектная процедура, система, виды систем.

3. Виды систем: сложные технические системы; человеко-машинные системы; системы автоматизированного проектирования; химико-технологическая система, гибкие автоматизированные производственные системы; компьютерные системы проектирования химических производств.

4. Функциональная структура компьютерной системы проектирования химических производств: состав и назначение подсистем.

5. Типовая структура системы поддержки принятия решения в составе компьютерной системы проектирования. Связи между элементами и подсистемами. Привести примеры.

6. Основные части проекта. Привести примеры информационных взаимосвязей между различными частями.

7. Предпроектные исследования. Процесс разработки задания на проектирование. Проектная документация. Содержание проекта, содержание пояснительной записки проекта.

8. Основные этапы технологического проектирования. Решаемые задачи, взаимосвязь задач проектирования на разных этапах (привести примеры).

9. Понятие автоматизации проектирования, цели создания систем автоматизированного проектирования, компьютерных систем проектирования. Отличительные особенности компьютерных систем проектирования и систем автоматизированного проектирования.

10. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования. Виды математических моделей, используемых при решении задач технологического проектирования (привести примеры).

11. Основные понятия теории надежности. Классификации состояний объектов (систем). Виды надежности.

12. Отказ как ключевое понятие надежности сложных технических систем. Неопределенности природы возникновения отказов. Классификация отказов

13. Структурные методы расчета надежности.

14. Показатели надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем.

15. Комплексные показатели надежности и примеры их использования на химических производствах

16. Структурные и логико-вероятностные методы расчета надежности

комбинированных систем. Метод «путей и сечений».

17. Методы повышения надежности сложных технических систем. Резервирование как метод повышения надежности.

18. Методы расчета надежности резервированных систем с нагруженным, ненагруженным и облегченным резервом.

19. Особенности расчета восстанавливаемых систем с резервированием

20. Анализ надежности сложных технических систем с использованием марковских случайных процессов.

21. Определение коэффициентов готовности различными методами. Привести примеры, дать сравнительный анализ

22. Проектирование химических производств с учетом требований промышленной безопасности: основные задачи, методики, модели. Современные требования промышленной безопасности опасных производственных объектов.

23. Моделирование взрывов на опасных производственных объектах. Детерминированный подход на основе тротилового эквивалента. Рекомендации по определению зон поражения для объектов и людей.

24. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: назначение, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств. Определение зон разрушения на основе детерминированных подходов по избыточному давлению во фронте ударной волны.

25. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Определение вероятностей поражения, повреждения, потерь в результате аварий. Основные расчетные соотношения для определения поражающих факторов взрыва при различных режимах взрывного превращения.

26. Модели пожаров «огненного шара», пролива, вспышки для определения последствий аварий на опасных производственных объектах.

27. Методика оценки последствий химических аварий ТОКСИ-3: назначение, области применения при проектировании, основные расчетные соотношения для определения характеристик источников аварий для различных сценариев.

28. Рекомендации по определению массы вещества, участвующей во взрыве в соответствии с современными нормативно-методическими требованиями.

29. Методика оценки последствий химических аварий (ТОКСИ-2): назначение, основные расчетные соотношения, области применения при проектировании химических производств. Определение токсодоз.

30. Сравнительный анализ и основные допущения современных расчетных методик оценки последствий химических аварий ТОКСИ-2 и ТОКСИ-3. Сценарии аварий. Привести примеры.

31. Влияние факторов окружающей среды и характеристик источника выброса на процессы распространения примеси вещества в атмосфере по методикам ТОКСИ-2 и ТОКСИ-3. Привести примеры.

32. Лабораторная информационная менеджмент система (ЛИМС) как средство автоматизации анализа, контроля и управления качеством химической продукции. Определение. Основные функции. Отечественные и зарубежные ЛИМС.

33. LabWare LIMS V6: основные функции, модульная архитектура, интеграция с информационными системами предприятия, поддерживаемые операционные системы и базы данных.

34. Основные этапы разработки ЛИМС с использованием программного комплекса LabWare LIMS V6.

35. Модели смены состояний аппаратов периодического действия. Этапы построения теоретико-множественной модели.

36. Построение графа смены состояний для периодического реактора.

37. Сети Петри. Определение, построение, свойства. Матрицы инцидентности.

Граф достижимых маркирований. Виды правильных сетей Петри.

38. Сеть Петри с входами и выходами. Определение, построение, свойства. Матрицы инцидентности.

39. Построение сети Петри многостадийных периодических процессов.

40. Структура интегрированной автоматизированной системы управления химическими предприятиями.

41. Основные методы и принципы построения иерархических систем управления. Распределенные системы управления.

42. Задачи выбора при проектировании химических производств, методы проектирования. Принятие решений при проектировании химических производств. Основные понятия и определения: альтернативы, цели и критерии. Классификация задач принятия решений.

43. Эвристические методы принятия решений. Матрицы решений, таблицы решений и деревья решений. Метод обобщенной ранжировки на основе парных сравнений по индивидуальным ранжировкам экспертов.

44. Эвристические методы принятия решений. Метод обобщенной ранжировки на основе парных сравнений по индивидуальным ранжировкам экспертов.

45. Аксиоматический подход к принятию решений. Понятие полезности, предпочтения. Аксиомы многокритериальной теории полезности. Принятие решений при задании предпочтений в форме отношений.

46. Метод анализа иерархии для решения многокритериальных задач принятия решений.

47. Метод ранжирования альтернатив для решения многокритериальных задач принятия решений.

48. Интеллектуальные методы поддержки принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами в условиях неопределенности: на основе нечеткой логики, экспертных систем и другие. Сравнительный анализ, области применения, достоинства и недостатки.

Максимальное количество баллов за экзамен – 40 баллов.

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

8.4. Структура и примеры билетов для экзамена.

Экзамен по дисциплине «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами» проводится в 1 семестре и включает контрольные вопросы по 8 разделам рабочей программы дисциплины. Билет для **экзамена** состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для **экзамена**.

«Утверждаю» Зав. каф. КХТП (Должность, название кафедры) _____ (Подпись) Глебов М.Б. (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

	Магистерская программа – «Кибернетика для инновационных технологий»
	Дисциплина «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»
Билет № 1	
1. Процесс проектирования химического производства как объект автоматизации. Необходимость создания компьютерных систем проектирования химических производств. (11 баллов) 2. Моделирование взрывов на опасных производственных объектах. Детерминированный подход на основе тротилового эквивалента. Рекомендации по определению зон поражения для объектов и людей. (15 баллов) 3. Основные функции, выполняемые интегрированными АСУ. (14 баллов)	

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами. Конспекты лекций: учеб. пособие/ Т.В. Савицкая, П.Г.Михайлова. – М: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. – 234 с.

2. Компьютерное моделирование анализа риска, последствий аварий и расчета надежности технологического оборудования опасных производственных объектов с использованием специализированного программного обеспечения: учеб. пособие / Т. В. Савицкая, К. А. Тихоненко. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2024. – 268 с.

Б) Дополнительная литература:

1. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. – М.: КолосС, 2010. – 526 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений) (подраздел 1.3 (32 с.), разделы 4.1, 4.2 (70 с.), глава 5 (102 с.)).

2. Савицкая Т.В. Методы оценки рисков и негативных воздействий химически опасных объектов / Т.В. Савицкая, А.Ф. Егоров. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 264 с.

3. Задачи и примеры анализа риска, оценки последствий аварий и негативных воздействий химически опасных объектов: учеб. пособие / Т. В. Савицкая, А. Ф. Егоров, П.Г. Михайлова, С. А. Лёвушкина. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2011. – 312 с. (раздел 2 (68 с.)).

4. Рекомендации по созданию и работе с базами данных учебно-методического комплекса по проблемам химической безопасности / Составители: Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Михайлова П.Г., Горанский А.В. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011 – 185 с. (раздел 3 (93 с.)).

5. Информационно-моделирующая система мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды [Текст]/Т.В. Савицкая, А.Ф. Егоров. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013.-138 с.

6. Компьютерное моделирование последствий аварий на опасных производственных объектах с использованием программного комплекса FLACS/ А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, Е.В. Казарезова, А.Ю. Захарова.– М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2017. –164 с.

7. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов /Под ред.

А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига» 2010. – 371 с.

8. Методическое и программное обеспечение для оценки надёжности и безопасности функционирования химико-технологического оборудования: монография / [Т. Н. Швецова-Шиловская и др.]. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 370 с. (главы 2,3 (148 с.), раздел 4.1 (33 с.).

9. Оптимизация расписания работы многопродуктовых химико-технологических систем. Лабораторный практикум: учеб. пособие / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, С.А. Левушкина. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. – 118 с.

10. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1985. – 448 с.

11. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Перов В.Л. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств, М.: Химия, 1979. – 320 с.

12. Савицкая Т.В., Бельков В.П. Синтез гибких химико-технологических систем (детерминированный и стохастический варианты). Текст лекций / Под ред. профессора А.Ф. Егорова – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2005. – 120 с.

13. Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. Техн. Ун-та, 2003. – 224 с.

14. Руководство по работе с базами данных учебно-методического комплекса по проблемам химической безопасности / Составители: Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Горанский А.В., Курбатова М.Г. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 164 с.

15. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ., – М.: “Радио и связь”, 1993. – 320 с.

16. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения: Пер. с англ. – М.: “Радио и связь”, 1981. – 559 с.

17. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин [и др.]. – М.: ЗАО ФИД «Деловой Экспресс», 2002. – 368 с.

18. Шубин В.С., Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств. – М.: Колосс, 2006. – 359 с.

19. ГОСТ Р 53798-2010. Стандартное руководство по лабораторным информационным менеджмент-системам (ЛИМС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53798-2010> (дата обращения: 20.04.2025).

20. Сайт компании ЛАБВЭА СНГ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labware.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).

21. Сайт компании LabWare [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labware.com/> (дата обращения: 20.04.2025).

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстрационный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям и отдельным практическим занятиям.
- Видеолекции.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- «Теоретические основы химической технологии», ISSN – 0040-3571;
- «Автоматизация в промышленности», ISSN – 1819-5962;
- «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика», ISSN – 2073-0004;
- «СТА: современные технологии автоматизации», ISSN – 0206-975X;

- «Программные продукты и системы», ISSN (печатной версии) – 0236-235X, ISSN (онлайновой версии) – 2311-2735;
- «Химическая промышленность сегодня», ISSN – 0023-110X;
- «Химическая технология», ISSN – 1684-5811;
- «Стандарты и качество», ISSN – 0038-9692;
- «Контроль качества продукции», ISSN – 2541-9900;
- «Безопасность труда в промышленности», ISSN – 0409-2961;
- «Безопасность в техносфере», ISSN – 1998-071X;
- «Информационные технологии в проектировании и производстве», ISSN – 2073-2597;
- «Химическое и нефтегазовое машиностроение», ISSN – 023-1126.

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <http://www.rsl.ru> - Российская Государственная Библиотека
- <http://www.gpntb.ru> - Государственная публичная научно-техническая библиотека России
- <http://lib.msu.ru> - 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
- <https://www.fips.ru/registers-web/> - Сайт ФИПС. Открытые реестры
- <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека
- <http://ib.safety.ru/> - Информационные бюллетени Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
- <https://www.safety.ru/> - Сайт Закрытого акционерного общества «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности»
- <http://www.logus.ru/> - Сайт научно - производственного предприятия «ЛОГУС»
- <https://integral.ru/> - сайт группы компаний «Интеграл»
- <http://www.aieco.ru/> - сайт научно-производственного предприятия «Авиаинструмент»
- <https://mosecom.mos.ru/> - сайт Мосэкомониторинга
- <https://chemview.epa.gov/chemview> - Chemical Data Access Tool
- <https://toxnet.nlm.nih.gov/index.html> - TOXNET Databases

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- электронные конспекты лекций по 16 темам;
- теоретические положения и примеры выполнения лабораторных работ;
- задания по лабораторным работам;
- лабораторная информационная система LabWare LIMS V6 (передана в 2010 г. ФГУП "ВНИЦСМВ" на основании письма от зав. кафедрой КИС ХТ Егорова А.Ф., бесплатно);
- инструментальный пакет моделирования сетей Петри HPSim (свободно распространяемое ПО).

Для изучения дисциплины в рамках онлайн-курса:

- компьютерные презентации интерактивных лекций и отдельных практических занятий (общее число презентаций – 29);

– банк тестовых заданий для промежуточного и итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – 194) – для контроля знаний части дисциплины, осваиваемой в форме онлайн-курса.

Указанные информационно-образовательные ресурсы размещены на учебном портале РХТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://study.muctr.ru/course/view.php?id=197> (дата обращения: 25.04.2025).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн с использованием LMS Moodle, включая обмен сообщениями, новостной форум и др., и платформы проведения видеоконференций МТС-Линк, Яндекс-телемост и др.

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 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 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 *«Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами»* проводятся в форме лекций, практических занятий, лабораторных работ и самостоятельной работы обучающегося.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеется 2 компьютерных класса с 17 компьютерами (2 для работы преподавателей, 15 для работы студентов) и 1 выделенный сервер. Все компьютеры имеют доступ к сети Интернет.

Для проведения практических занятий по дисциплине имеются: многофункциональная лаборатория, оборудованная мультимедийным оборудованием,

имеющая 10 персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть с выходом в сеть Интернет, и одно многофункциональное устройство; компьютерный класс, оборудованный 9 компьютерами, объединенными в локальную сеть с выходом в Интернет, и одним принтером.

Кафедра обладает стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

При осуществлении образовательного процесса магистрантов, обучающихся по направлению 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий» по дисциплине «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами» используется современное программное обеспечение: специализированное программное обеспечение TOXI+RISK и др.

11.2. Учебно-наглядные пособия:

По дисциплине «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами» доступна рабочая программа, размещенная на сайте междисциплинарной автоматизированной системы обучения <http://cis.muctr.ru/alk/>. Реализованы лекции по учебным модулям в соответствии с рабочей программой дисциплины. Доступны комплексы лабораторных работ, включающие типовые примеры выполнения работ и требования к отчетам, варианты заданий, руководство по работе с моделирующим программным обеспечением.

Магистранты могут использовать данные электронные ресурсы для самостоятельной подготовки.

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

На кафедре КХТП для проведения лабораторных занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях или при проведении лабораторных работ на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки.

Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: учебные пособия; методические рекомендации к практическим занятиям; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде.

На кафедре КХТП электронные образовательные ресурсы: междисциплинарная автоматизированная система обучения на основе сетевых технологий для подготовки химиков-технологов; инновационный учебно-методический комплекс по проблемам химической безопасности и биологической безопасности; специализированное программное обеспечение; базы данных специализированного назначения, используемые при изучении соответствующих разделов дисциплины «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами».

Электронные образовательные ресурсы по дисциплине размещены также на учебном портале РХТУ им. Д.И. Менделеева (study.muctr.ru).

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1.	LabWare LIMS V6	Письмо о передаче 2010 год	-	Бессрочно
2.	Среда разработки Simulink Control Design Classroom new Product From 25 to 49 Concurrent Licenses (per License)	Контракт № 143-164ЭА/2010 от 14.12.10	25 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная
3.	ПО TOXI+Risk, версия 5 учебная	Соглашение N СТ0000054/23 о предоставлении программного продукта от 31.08.2023 между ЗАО НТЦ ПБ и РХТУ им. Д.И. Менделеева	Сетевая, 10 рабочих мест	28.09.2023-31.12.2023 с возможностью пролонгации на каждый календарный год
4.	SoF CES – программное обеспечение для синтеза ХТС	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017662858 «Программное обеспечение для синтеза химико-технологических систем «SoF CES». Правообладатели: Сальников Е.Д., Савицкая Т.В. Авторы: Сальников Е.Д., Савицкая Т.В. Заявка №2017614720, дата поступления 18 мая 2017 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 17 ноября 2017 г.	-	Бессрочно
5.	I2S – программное приложение для задач моделирования многоассортиментных ХТС	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ N 2019665460 “Программное приложение для задач моделирования многоассортиментных химико-технологических систем”, Авторы Чернухин А.В., Сверчков А.М., Савицкая Т.В.	-	Бессрочно

№ п/ п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
		Правообладатель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева”. Заявка N 2019664173. Дата поступления 11 ноября 2019 г., Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22 ноября 2019 г.		
6.	Программное приложение для решения задач подбора и расчета надежности трубопроводной арматуры для магистральных трубопроводов.	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660870 Программное приложение для решения задач подбора и расчета надежности трубопроводной арматуры для магистральных трубопроводов. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Авторы: Тихоненко К.А., Сверчков А.М., Савицкая Т.В. Заявка № 2022660268 дата поступления 30 мая 2022 г., зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 10 июня 2022 г.	-	Бессрочно
7.	Программное приложение для расчета показателей надежности комбинированных структур,	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682202 от 23 октября 2023 г. Программное приложение для расчета показателей	-	Бессрочно

№ п/ п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
		надежности комбинированных структур, Правообладатель ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И. Менделеева, авторы Молин М.М., Савицкая Т.В.		

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Системный анализ химических производств как объектов проектирования и управления	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;	Оценка на экзамене
Раздел 2. Общие вопросы проектирования химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений. Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления; ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; использовать методы принятия решений для анализа и выбора альтернатив в процессе многокритериального принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами;	Оценка на экзамене
Раздел 3. Основы создания и организации компьютерных систем проектирования химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами; Умеет: ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; Владеет: навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей	Оценки за лабораторные работы №1,2. Оценка на экзамене

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;	
Раздел 4. Математическое обеспечение компьютерных систем проектирования химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности; Умеет: ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач; Владеет: методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности; навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;	Оценка на экзамене Оценка за лабораторную работу №3
Раздел 5. Проектирование химических производств с учетом требований надежности и промышленной безопасности	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности; модели, методы и комплексы программных средств для проектирования химических производств с учетом требований эксплуатационной надежности и промышленной безопасности; Умеет: исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач;	Оценки за лабораторные работы №4, 5, 6. Оценка на экзамене

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	проводить расчеты надежности оборудования и установок химических производств; проводить анализ оборудования и установок химических производств как источников техногенной опасности на стадии проектирования; Владеет: навыками использования универсального и специализированного программного обеспечения для моделирования и синтеза химико-технологических систем (ХТС), контроля качества химической продукции, расчетов показателей надежности элементов, оборудования и установок ХТС, оценки последствий аварий на химически опасных объектах;	
Раздел 6. Основы построения и организации компьютерных систем управления технологическими процессами химических производств	Знает: методы исследования химических производств как объектов проектирования и управления; основы создания и организации компьютерных человеко-машинных систем проектирования и управления химическими производствами; Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования и управления;	Оценка на экзамене
Раздел 7. Модели, методы и алгоритмы логического управления аппаратами периодического действия и процессами их взаимодействия в многостадийных химико-технологических системах	Знает: алгоритмы управления аппаратами периодического действия; Умеет: разрабатывать математические модели процессов смены состояний с использованием теории классических сетей Петри Владеет: методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности; навыками формализованного представления моделей логического управления аппаратами периодического действия;	Оценка на экзамене Оценка за лабораторную работу №7
Раздел 8. Системы поддержки принятия решений в компьютерных системах проектирования и управления химическими производствами	Знает: методы моделирования и проектирования химических производств, в том числе в условиях неопределенности теоретические основы проектирования и управления химическими производствами с использованием систем поддержки принятия решений. Умеет:	Оценка на экзамене

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств, а также контроля и управления качеством химической продукции в условиях неопределенности; исследовать природу неопределенности в задачах проектирования и управления химическими производствами и выбирать методы решения данных классов задач; использовать методы принятия решений для анализа и выбора альтернатив в процессе многокритериального принятия решений при проектировании и управлении химическими производствами; Владеет: методами формализации задач проектирования и управления химическими производствами в детерминированных условиях и в условиях неопределенности	

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 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
«Компьютерные системы проектирования и управления химическими
производствами»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки
 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
 нефтехимии и биотехнологии»
 Магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»

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.

**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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Создание цифровых моделей объектов химического,
нефтегазохимического, топливноэнергетического
и общепромышленного комплекса»**

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена:
профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов (КХТП), д.т.н.
Писаренко Е. В.
профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов (КХТП), д.т.н.
Савицкой Т. В.
ассистентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов (КХТП),
Зиминой К. А.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
кибернетики химико-технологических процессов
«12» мая 2025 г., протокол № 8.

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 аналогичных дисциплин кафедрой кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина **«Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса»** относится к части, формируемой участниками образовательного процесса, учебного плана блока «Дисциплины (модули)» и рассчитана на изучение в 1 семестре обучения.

Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области «Инженерная и компьютерная графика», «Основы информационных технологий», «Профильное программное обеспечение для решения задач профессиональной деятельности», «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов», «Моделирование типовых процессов химической технологии», «Математическое моделирование энерго- и ресурсоэффективных технологических систем», «Интегрированные системы управления химическими производствами», «Автоматизированные системы управления химико-технологическими процессами и системами» и аналогичных дисциплинах других направлений подготовки бакалавров.

Цель дисциплины – научить магистрантов теоретическим знаниям, практическим умениям и навыкам использования современных математических методов, моделей, информационных и программных средств для решения широкого круга задач в области разработки и использования цифровых моделей промышленных объектов.

Задачи дисциплины:

- ознакомление магистрантов с основными концепциями и методами создания цифровых моделей промышленных объектов;
- обучение магистрантов использованию современных программных средств для моделирования технологических процессов и оборудования;
- развитие навыков анализа и интерпретации результатов моделирования для принятия управленческих решений;
- формирование умения интегрировать цифровые модели в процессы проектирования, эксплуатации и оптимизации промышленных систем;
- приобретение компетенций по обеспечению безопасности и экологической устойчивости при использовании цифровых технологий в промышленности.

Дисциплина **«Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса»** преподается в 1 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

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

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих профессиональных 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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 – 6)
			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	

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
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-2. Готов к анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	ПК-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	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 – 6)
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной деятельности в	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	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 №
			ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции	

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
техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).		эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности	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 – 6)
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	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.1 Знает принципы построения математических моделей, проверку их достоверности, последние достижения в развитии математического моделирования на основе теории искусственного интеллекта; соотношение математического и физического моделирования ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной	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

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
	химико-технологического производства).		деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
			ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- основные принципы и концепции цифрового моделирования промышленных объектов и процессов;
- современные методы и технологии создания цифровых двойников и моделей (например, CAD, систем автоматизированного проектирования);
- особенности моделирования объектов химической, нефтегазохимической, энергетической и других отраслей промышленности;
- основы программных средств для моделирования и анализа промышленных систем;
- методы оценки точности и достоверности созданных моделей;
- правила обеспечения безопасности и экологической устойчивости при использовании цифровых технологий.

Уметь:

- проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования;
- ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств;
- разрабатывать модели сложных промышленных объектов с учетом специфики отрасли;
- использовать современные программные средства для создания и тестирования моделей;
- интерпретировать результаты моделирования для принятия управленческих решений.

Владеть:

- методами формализации задач проектирования химических производств в детерминированных условиях и в условиях неопределенности;
- навыками использования специализированного программного обеспечения для создания цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса (InterBridge, ПОЛИНОМ);
- умением собирать исходные данные для моделирования из различных источников;
- навыками проведения анализа результатов моделирования;
- способностью документировать и представлять результаты своей работы в виде отчетов;
- навыками командной работы при реализации комплексных проектов по созданию цифровых моделей.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр.ч.
Общая трудоемкость дисциплины	2	72	54
Контактная работа – аудиторные занятия:	1,42	51	38,25
Лекции	0,47	17	12,75
Лабораторные работы	0,94	34	25,5
Самостоятельная работа	0,58	21	15,75
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0,58	21	15,75
Вид итогового контроля:	Зачёт с оценкой		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лек-ции	Лаб	СР
1.	Раздел 1. Программный комплекс ПОЛИНОМ	35	12	16	7
1.1	Работа с проектом и структурой модели проекта, БД проекта	8	3	4	1
1.2	Информационное моделирование	16,5	4	8	4,5
1.3	Проверка модели на корректность построения, экспорт модели	3,5	2	1	0,5
1.4	Работа с облаками точек и чертежами	7	3	3	1
2.	Раздел 2. Конвертер инженерных моделей InterBridge. Приемы работы с моделью	7	3	2	2
2.1	Свойства и структура модели. Визуализация и управление элементами	1,5	0,5	0,5	0,5
2.2	Просмотр атрибутивной информации и формирование поисковых запросов	1,5	0,5	0,5	0,5
2.3	Редактирование моделей. Измерения, динамические вращения, масштабирование, конвертация модели	2	1	0,5	0,5
2.4	Работа с проектом и структурой модели проекта, БД проекта	2	1	0,5	0,5
3.	Раздел 3. Менеджер коллизий	6	2	2	2
3.1	Виды коллизий и методы их выявления	3	1	1	1
3.2	Управление настройками поиска коллизий	3	1	1	1
4.	Раздел 4. Создание цифровых моделей	24	-	14	10
	ИТОГО	72	17	34	21

4.2 Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Программный комплекс ПОЛИНОМ

1.1. Работа с проектом и структурой модели проекта, БД проекта. Идея курса. Основные определения и термины. Технологии информационного моделирования (ТИМ). Building Information Modeling (BIM). Формат Industry Foundation Classes (IFC). Введение. Рабочие процессы. Организация и управление проектами моделирования. Структура проекта, его компоненты и взаимосвязи, работа с базами данных проекта (БД),

1.2. Информационное моделирование. Роль информационного моделирования в современном проектировании и эксплуатации промышленных объектов. Разработка цифровой информационной модели технологического объекта в САПР ПОЛИНОМ. Обзор функциональности строительной 3D системы автоматизированного проектирования (САПР) Renga. Возможности САПР Полином и конвертера инженерных данных InterBridge. Уровни разработки компонентов модели (LOD – Level Of Details). 4D-модель, 5D-модель. Цифровая информационная модель (ЦИМ) на разных стадиях жизненного цикла объекта. Цифровое моделирование объектов химического и нефтегазохимического комплекса.

1.3. Проверка модели на корректность построения, экспорт модели. Методы и технологии создания и использования информационных моделей для представления данных об объектах и процессах. Принципы моделирования, структура информационных моделей, их применение для анализа, планирования и оптимизации инженерных решений.

1.4. Работа с облаками точек и чертежами. Техники импорта, визуализации, анализа и редактирования облаков точек для получения точных геометрических моделей. Работа с чертежами для сопоставления и дополнения цифровых моделей. Представление объектов для проектирования, контроля и эксплуатации. Технология лазерного сканирования в BIM.

Раздел 2. Конвертер инженерных моделей InterBridge. Приемы работы с моделью

2.1. Свойства и структура модели. Визуализация и управление элементами. Применение ТИМ для задач строительства. Методы визуализации элементов модели для ее анализа и проверки. Функциональные возможности InterBridge Pro. Инструменты управления компонентами модели для настройки и оптимизации моделирования процессов.

2.2 Просмотр атрибутивной информации и формирование поисковых запросов. Просмотр свойств и характеристик элементов модели. Формирование эффективных поисковых запросов для быстрого поиска нужной информации в базе данных или системе моделирования.

2.3 Редактирование моделей. Измерения, динамические вращения, масштабирование, конвертация модели. Операции измерения размеров и параметров моделей, выполнение динамических вращений для анализа и визуализации, масштабирование для изменения размеров объектов. Конвертация моделей между различными форматами и системами для обеспечения совместимости и удобства работы.

2.4 Работа с проектом и структурой модели проекта, БД проекта. Организация структуры проекта в системе моделирования. База данных проекта и ее роль. Суть информационного моделирования. Преимущества использования информационных моделей в химической и нефтехимической промышленности.

Раздел 3. Менеджер коллизий

3.1. Виды коллизий и методы их выявления. Типы столкновений элементов модели, таких как пересечения или наложения объектов, которые могут мешать корректному моделированию и анализу. Виды коллизий, их причины и последствия.

Матрица коллизий. Методы автоматического и ручного выявления коллизий с помощью специальных программных инструментов. Функциональные возможности ExCollider. Зарубежный опыт развития и применения ТИМ для решения задач сопровождения жизненного цикла промышленных и инфраструктурных объектов.

3.2. Управление настройками поиска коллизий. Инструменты и алгоритмы для определения чувствительности поиска, выбора критериев выявления пересечений и оптимизации процесса анализа моделей. Система управления данными (СУД). Система управления инженерными данными (СУИД). СУИД НЕОСИНТЕЗ.

Раздел 4. Создание цифровых моделей. Самостоятельный проект по разработке цифровой модели объекта или системы химического и нефтегазохимического комплекса. Этапы моделирования: сбор и подготовка данных, создание трехмерной модели, настройка параметров, проверка точности и полноты модели.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	Знать:				
1	– основные принципы и концепции цифрового моделирования промышленных объектов и процессов;	+	+	+	+
2	– современные методы и технологии создания цифровых двойников и моделей (например, CAD, систем автоматизированного проектирования);	+	+		+
3	– особенности моделирования объектов химической, нефтегазохимической, энергетической и других отраслей промышленности;	+	+		+
4	– основы программных средств для моделирования и анализа промышленных систем;	+	+	+	+
5	– методы оценки точности и достоверности созданных моделей;	+		+	
6	– правила обеспечения безопасности и экологической устойчивости при использовании цифровых технологий.			+	+
	Уметь:				
7	– проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования;	+		+	+
8	– ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств;	+	+	+	+
9	– разрабатывать модели сложных промышленных объектов с учетом специфики отрасли;	+	+		+
10	– использовать современные программные средства для создания и тестирования моделей;	+	+	+	+
11	– интерпретировать результаты моделирования для принятия управленческих решений.	+	+	+	+
	Владеть:				

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
12	– методами формализации задач проектирования химических производств в детерминированных условиях и в условиях неопределенности;		+			+
13	– навыками использования специализированного программного обеспечения для создания цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса (InterBridge, ПОЛИНОМ);		+	+	+	+
14	– умением собирать исходные данные для моделирования из различных источников;		+	+		+
15	– навыками проведения анализа результатов моделирования;		+		+	+
16	– способностью документировать и представлять результаты своей работы в виде отчетов;		+	+	+	+
17	– навыками командной работы при реализации комплексных проектов по созданию цифровых моделей.		+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u>						
	Код и наименование ПК (перечень из п.2)	Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)				
20	– 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	+	+	+	+

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
		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	+	+	+	+
	– 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-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	+	+	+	+
21	– ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и	ПК-3.2. Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	+	+	+	+

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	ресурсосбережения	ПК-3.3. Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной деятельности	+	+	+	+
22	– ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.1 Знает принципы построения математических моделей, проверку их достоверности, последние достижения в развитии математического моделирования на основе теории искусственного интеллекта; соотношение математического и физического моделирования	+	+	+	+
		ПК-4.2. Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	+	+	+	+
		ПК-4.3. Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	+	+	+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

Практические занятия по дисциплине не предусмотрены.

6.2 Лабораторные занятия

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса», а также дает знания об использовании специализированного программного обеспечения для создания цифровых моделей, объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 60 баллов (максимально по 7-17 баллов за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1	1.1	Управление проектом и структурой базы данных модели с использованием специализированного программного комплекса ПОЛИНОМ	4 часа
2	1.2, 1.3	Методы и инструменты информационного моделирования, навигации и проверки проектных систем в специализированном программном комплексе ПОЛИНОМ	9 часов
3	1.4	Работа с облаками точек и чертежами для создания и анализа цифровых моделей с использованием специализированного программного комплекса ПОЛИНОМ	3 часа
4	2.1, 2.2, 2.3, 2.4	Анализ и обработка цифровых моделей: структура, визуализация и редактирование с использованием конвертера инженерных моделей InterBridge	2 часов
5	3.1, 3.2	Выявление и управление коллизиями в цифровых моделях с использованием менеджера коллизий конвертера инженерных моделей InterBridge	2 часа
6	4	Создание цифровых моделей объектов промышленности с использованием конвертера InterBridge, менеджера коллизий и программного комплекса ПОЛИНОМ	14 часов

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студента в объёме 21 часа. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- выполнение индивидуального задания в лабораторной работе;
- подготовку к сдаче зачёта с оценкой по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимую для изучения 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 учебной 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 лабораторных работ (60 баллов):

- Лабораторная работа №1 (раздел 1) – 8 баллов;
 - Лабораторная работа №2 (раздел 1) – 13 баллов;
 - Лабораторная работа №3 (раздел 1) – 7 баллов;
 - Лабораторная работа №4 (раздел 2) – 7 баллов;
 - Лабораторная работа №5 (раздел 3) – 8 баллов;
 - Лабораторная работа №6 (раздел 4) – 17 баллов;
- и итогового контроля в форме зачета с оценкой – 40 баллов.

8.1. Примеры тем лабораторных работ для текущего контроля освоения дисциплины

Раздел 1.

Лабораторная работа 1. Управление проектом и структурой базы данных модели с использованием специализированного программного комплекса ПОЛИНОМ. Максимальная оценка – 8 баллов.

Лабораторная работа 2. Методы и инструменты информационного моделирования, навигации и проверки проектных систем в специализированном программном комплексе ПОЛИНОМ. Максимальная оценка – 13 баллов.

Лабораторная работа 3. Работа с облаками точек и чертежами для создания и анализа цифровых моделей с использованием специализированного программного комплекса ПОЛИНОМ. Максимальная оценка – 7 баллов.

Раздел 2.

Лабораторная работа 4. Анализ и обработка цифровых моделей: структура,

визуализация и редактирование с использованием конвертера инженерных моделей InterBridge. Максимальная оценка – 7 баллов.

Раздел 3.

Лабораторная работа 5. Выявление и управление коллизиями в цифровых моделях с использованием менеджера коллизий конвертера инженерных моделей InterBridge. Максимальная оценка – 8 баллов.

Раздел 4.

Лабораторная работа 6. Создание цифровых моделей объектов промышленности с использованием конвертера InterBridge, менеджера коллизий и программного комплекса ПОЛИНОМ (индивидуальное задание). Максимальная оценка – 17 баллов.

8.2. Примеры типовых заданий на лабораторные работы

Лабораторная работа 1. Управление проектом и структурой базы данных модели с использованием специализированного программного комплекса ПОЛИНОМ.

Цель работы: умение работать со структурой модели, выгружать элементы из базы данных модели в файл просмотра посредством формирования фильтра по атрибутам элементов и управлять файлами.

Имеется цифровая модель факельной системы, используемой в нефтегазовой и химической промышленности для безопасного сжигания отходящих газов, невостробованных или избыточных газов, возникающих при добыче, переработке или транспортировке нефти и газа, необходимо:

1. Запустить в программном комплексе ПОЛИНОМ подготовленную цифровую модель факельной системы.
2. Ознакомиться со структурой модели: разделы, категории элементов, атрибуты и свойства элементов.
3. Определить ключевые элементы, такие как трубы, оборудование, крепежные элементы, а также их атрибуты.
4. Настроить параметры фильтрации, чтобы выделить необходимые элементы для анализа.
5. Использовать инструменты управления базой данных в ПОЛИНОМ для обновления данных или внесения изменений в структуру элементов модели.
6. Сделать содержательные выводы по работе.

Лабораторная работа 2. Методы и инструменты информационного моделирования, навигации и проверки проектных систем в специализированном программном комплексе ПОЛИНОМ.

Цель работы: умение управлять положением модели в пространстве видового окна, управлять визуальным представлением модели, редактировать и создавать стили представления, выделять, изолировать элементы модели, настраивать различное отображение модели по видовым окнам, устанавливать категорийные и классовые атрибуты элементов, находить требуемое оборудование в БД каталога, размещать его в пространстве модели, изучение процесса размещения трубопроводов и трубопроводных элементов, манипуляции с элементами, формирование и работа с динамическим фильтром, изучение видов атрибутов, изменение категорийных и классовых атрибутов, изучение работы менеджера слоев, изучение последовательности и методов проверки модели на корректность построения, изучение возможностей экспорта модели из ПОЛИНОМ.

Имеется цифровая модель факельной системы, используемой в нефтегазовой и химической промышленности для безопасного сжигания отходящих газов,

невостребованных или избыточных газов, возникающих при добыче, переработке или транспортировке нефти и газа, необходимо:

1. Использовать инструменты навигации для перемещения, вращения и масштабирования модели в видовых окнах.
2. Создать и применить стили отображения: цветовые схемы, уровни прозрачности, линии.
3. Выделить отдельные элементы или группы элементов модели. Использовать функцию изоляции для временного отображения только выбранных элементов.
4. Настроить отображение элементов в каждом виде.
5. Установить и отредактировать атрибуты элементов, такие как категория, класс, материал, тип. Использовать свойства для быстрого поиска или фильтрации.
6. Выполнить поиск сепаратора, разместить оборудование в модели, выбрав подходящее место и ориентацию.
7. Спроектировать маршрут трубопровода, соединяющего оборудование или узлы системы. Установить трубопроводы и элементы трубопроводов, при необходимости изменять длину, угол, соединения.
8. Создать фильтр для отображения элементов по определённым атрибутам или категориям. Включить фильтр и оценить результаты отображения.
9. Изучить атрибуты и изменение категорийных и классовых атрибутов.
10. Использовать встроенные инструменты проверки на наличие ошибок, пересечений или несоответствий построенных элементов модели. Исправить выявленные несоответствия.
11. Выполнить экспорт модели в выбранный формат (P3DB, DNG, DWG).
12. Сделать содержательные выводы по работе.

Лабораторная работа 3. Работа с облаками точек и чертежами для создания и анализа цифровых моделей с использованием специализированного программного комплекса ПОЛИНОМ

Цель работы: изучение процесса конвертации, загрузки и редактирования облака точек в статическом режиме, изучение методики и процесса редактирования оборудования по облаку точек, изучение процессов создания и редактирования узлов модели типа чертеж ISO, порядок подготовки модели для получения изометрических чертежей, изучение процесса создания спецификации на материалы и оборудование, изучение процесса создания чертежа на основе шаблона и проекции из модели, изучение процесса экспорта 2D-фалов в различные графические форматы, вывод на печать.

Имеется цифровая модель факельной системы, используемой в нефтегазовой и химической промышленности для безопасного сжигания отходящих газов, невостребованных или избыточных газов, возникающих при добыче, переработке или транспортировке нефти и газа, необходимо:

1. Выполнить импорт облака точек, выбранного из файлового хранилища. Настроить параметры отображения облака точек для удобства анализа.
2. Выполнить фильтрацию облака по плотности, удаление шумов или лишних точек. Использовать инструменты для привязки или выравнивания облака относительно модели.
3. Отредактировать оборудование по облаку точек.
4. Создать узлы модели, соответствующие стандартам ISO. Настроить параметры узлов: размеры, обозначения. Расположить узлы в пространстве модели для последующего использования при создании чертежей.
5. Создать проекции модели в изометрическом виде.
6. На основе модели сформировать спецификацию.
7. Выбрать шаблон для чертежа (ISO). Создать чертеж, используя проекции модели (виды, разрезы, развертки). Настроить оформление, размеры и обозначения.

8. Выполните экспорт чертежей и спецификаций в выбранные форматы: PDF и DWG.
9. Сделать содержательные выводы по работе.

Лабораторная работа 4. «Анализ и обработка цифровых моделей: структура, визуализация и редактирование с использованием конвертера инженерных моделей InterBridge».

Цель работы: освоение работы с моделью, умение работать с системой координат модели, свободное управление положением камеры в области сцены и настройки ее визуализации, ознакомление со структурой модели, способами и командами выделения элементов модели, ознакомление со способами просмотра атрибутивной информации элементов модели, их поиск, ознакомление с инструментами измерений элементов модели, ознакомление с инструментами «сечения» и «точки образа», умение редактировать структуру модели и изменять положение объектов модели, умение работать с аннотациями к объектам, умение конвертировать модели, освоение приемов создания свободной информационной модели, освоение приемов работы с облаками точек.

Имеется цифровая модель факельной системы, используемой в нефтегазовой и химической промышленности для безопасного сжигания отходящих газов, не востребуемых или избыточных газов, возникающих при добыче, переработке или транспортировке нефти и газа, необходимо:

1. Загрузить выбранную цифровую модель объекта в область сцены конвертера инженерных моделей InterBridge.
2. Ознакомиться со структурой модели: изучить иерархию элементов и их атрибутивные данные.
3. Настроить систему координат и с помощью свободного управления камерой выполнить обзор модели с различных ракурсов.
4. Выделить отдельные элементы модели при помощи команд выделения и просмотреть их атрибутивную информацию.
5. Используя инструменты измерений, выполнить замеры длины выбранных элементов.
6. Создать сечение модели в выбранной области.
7. Добавить аннотации к выбранным элементам модели, указав необходимые комментарии или параметры.
8. Выполнить редактирование структуры модели.
9. Произвести конвертацию модели в форматы NWD/NWC, DWG Autodesk AutoCAD, NanoCAD, IFC.
10. Импортировать облако точек, выполнить его обработку и интеграцию с основной моделью.
11. Сделать содержательные выводы по работе.

Лабораторная работа 5. «Выявление и управление коллизиями в цифровых моделях с использованием менеджера коллизий конвертера инженерных моделей InterBridge».

Цель работы: изучение интерфейса модуля «Менеджер коллизий», обзор команд, настройка параметров поиска коллизий, изучение процессов запуска поиска коллизий и просмотра его результатов, умение редактирования параметров при проверке, умение управлять параметрами коллизий, фильтровать результаты поиска, редактировать список коллизий, умение сохранять результаты поиска коллизий, освоение процесса формирования матрицы коллизий для междисциплинарной проверки, освоение процесса изменения структуры модели путем добавления файла модели, умение формировать отчет по результатам проверки.

Имеется цифровая модель факельной системы, используемой в нефтегазовой и

химической промышленности для безопасного сжигания отходящих газов, неостребованных или избыточных газов, возникающих при добыче, переработке или транспортировке нефти и газа, необходимо:

1. Ознакомиться с интерфейсом менеджера коллизий.
2. Выполнить настройку параметров для более точного выявления коллизий.
3. Проанализировать список обнаруженных коллизий. Использовать фильтры для сортировки по типам, степени критичности или области модели.
4. Отредактировать параметры коллизий (например, отметить важные или исключить незначительные).
5. Сохранить результаты поиска в отчет.
6. Использовать функцию генерации матрицы для междисциплинарной проверки системы информационного моделирования (СИМ).
7. Импортировать дополнительные файлы модели и выполнить повторный запуск поиска коллизий для оценки изменений.
8. Сформируйте полный отчет, включающий найденные коллизии, принятые меры и рекомендации.
9. Сделать содержательные выводы по работе.

Лабораторная работа 6. Создание цифровых моделей объектов промышленности с использованием конвертера InterBridge, менеджера коллизий и программного комплекса ПОЛИНОМ.

Цель работы: Изучить процесс создания цифровых моделей объектов промышленности с использованием конвертера InterBridge, освоить методы выявления и устранения коллизий при работе с моделями через менеджер коллизий, а также научиться использовать программный комплекс ПОЛИНОМ для интеграции, редактирования и проверки моделей на соответствие проектным требованиям и техническим стандартам.

По выданной схеме и спецификации оборудования построить цифровую модель в программном комплексе ПОЛИНОМ, проверить корректность построения модели, выполнить экспорт модели в формат R3DB для отображения в конвертере InterBridge, выполнить поиск коллизий через менеджер коллизий, собрать отчет по проделанной работе, сделать содержательные выводы.

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (Зачет с оценкой)

Экзаменационный билет включает 3 теоретических вопроса, оцениваемых в зависимости от уровня сложности.

1. Что такое информационное моделирование, что такое ТИМ и BIM?
2. Преимущества технологии BIM на каждой стадии жизненного цикла объекта?
3. Преимущества технологии BIM для разных участников жизненного цикла объекта строительства?
4. Формат IFC?
5. Уровни «зрелости» BIM?
6. Внедрение технологии BIM в рабочие процессы?
7. 3D модель и BIM?
8. Уровни разработки компонентов модели (LOD)?
9. Ключевые идеи, связанные с понятием LOD?
10. Применение BIM / ЦИМ на разных стадиях жизненного цикла объекта?
11. Виды трехмерной графики?
12. Какие типы САПР Вы знаете?
13. В чем преимущества САПР ПОЛИНОМ?
14. Функциональные возможности САПР ПОЛИНОМ?

15. Как обеспечивается коллективная работа в САПР ПОЛИНОМ?
16. Для чего используется Project Manager в САПР ПОЛИНОМ?
17. Для чего используется технология лазерного сканирования в BIM?
18. Сводная информационная модель (СИМ)?
19. Для чего используется InterBridge Pro?
20. Функциональные возможности InterBridge Pro?
21. Проблема неоднородная атрибутивно-классовая структура?
22. Что такое коллизия, и какие типы коллизии есть?
23. Какие ПО знаете для поиска коллизии?
24. Что такое матрица коллизии?
25. Функциональные возможности ExCollider?
26. что такое СУД, СУИД, в чем разница?
27. СУИД НЕОСИНТЕЗ, Основной функционал?
28. Что такое 4D-модель, 5D-модель?
29. Аналитическая отчетность на основе данных СУИД?
30. Эволюция программных средств ТИМ?
31. Страны-лидеры по темпам внедрения ТИМ?
32. Цифровая модель объекта. Основные преимущества ее использования.
33. Типы данных, используемые при создании цифровых моделей, как они взаимодействуют?
34. Роль информационного моделирования в современном проектировании и эксплуатации промышленных объектов.
35. Виды атрибутивной информации, содержащиеся в цифровой модели.
36. Как сформировать эффективный поисковый запрос для поиска нужных атрибутов в базе данных модели?
37. Основные операции, входящие в редактирование цифровых моделей.
38. Как выполнить масштабирование модели и зачем оно нужно?
39. Что такое конвертация модели и в каких случаях она необходима?
40. Что представляет собой сводная информационная модель и как она создается?
41. Особенности работы с облаками точек. Как их используют при моделировании?
42. Виды коллизий в цифровых моделях. Методы, применяемые для автоматического выявления коллизий.
43. Почему важно правильно управлять настройками поиска коллизий?
44. Какие параметры можно настраивать при поиске коллизий?
45. Как организована структура проекта в системе моделирования?
46. База данных проекта. Какую роль она играет?
47. Суть информационного моделирования. Преимущества использования информационных моделей в промышленности.
48. Как осуществляется обработка облаков точек для создания цифровых моделей?
49. Каким образом чертежи дополняют или проверяют созданные модели?
50. Основные этапы создания цифровой модели.
51. Сравните методы ручного и автоматического выявления коллизий: преимущества и недостатки каждого.
52. Сопоставьте виды атрибутивной информации и их роль в процессе поиска и редактирования моделей.
53. Какие современные программные средства вы знаете для работы с облаками точек и как они отличаются друг от друга?
54. Объясните, как автоматизация поиска коллизий влияет на качество и скорость моделирования.
55. При создании цифровой модели объекта в ней обнаружены многочисленные коллизии. Какие шаги вы предпримете для их выявления и устранения?
56. Какие методы наиболее эффективны для обработки облаков точек?

57. Какие параметры наиболее важны при настройке поиска коллизий?
58. Обоснуйте необходимость интеграции различных типов данных (облаков точек, чертежей, атрибутивной информации) при создании комплексных цифровых моделей.
59. Противопоставьте создание сводной информационной модели и работу с отдельными моделями элементов. В чем их основные отличия и преимущества?
60. Какие потенциальные ошибки могут возникнуть при формировании поисковых запросов к базе данных модели, и как их избежать?
61. Последовательность действий по созданию цифровой модели объекта с использованием данных облаков точек

Максимальное количество баллов за зачет с оценкой – 40 баллов.

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

8.4. Структура и примеры билетов для экзамена.

Зачет с оценкой по дисциплине «Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса» проводится в 1 семестре и включает контрольные вопросы по 4 разделам рабочей программы дисциплины. Билет для **зачета с оценкой** состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для **зачета с оценкой**.

«Утверждаю» Зав. каф. КХТП (Должность, название кафедры) _____ Глебов М.Б. (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
	Магистерская программа – «Кибернетика для инновационных технологий»
Дисциплина «Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса»	
Билет № 1	
1. Цифровая модель объекта. Основные преимущества ее использования. (12 баллов)	
2. Виды коллизий в цифровых моделях. Методы, применяемые для автоматического выявления коллизий. (13 баллов)	
3. Как осуществляется обработка облаков точек для создания цифровых моделей? (15 баллов)	

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами. Конспекты лекций: учеб. пособие/ Т.В. Савицкая, П.Г. Михайлова. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. – 234 с.

Б) Дополнительная литература:

1. АО ГК НЕОЛАНТ. Методическое пособие к практическим занятиям по конвертеру инженерных моделей InterBridge. – Ставрополь, 2024. – 120 с.

2. АО ГК НЕОЛАНТ. Методическое пособие к практическим занятиям по конвертеру инженерных моделей InterBridge. Менеджер коллизий. – Ставрополь, 2024. – 93 с.

3. АО ГК НЕОЛАНТ. Методическое пособие к практическим занятиям по программному комплексу ПОЛИНОМ 3. – Ставрополь, 2024. – 268 с.

4. Сайт группы компаний Неолант. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neolant.group/> (дата обращения: 06.06.2025).

5. Рекомендации по созданию и работе с базами данных учебно-методического комплекса по проблемам химической безопасности / Составители: Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Михайлова П.Г., Горанский А.В. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011 – 185 с. (раздел 3 (93 с.)).

6. Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов /Под ред. А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига» 2010. – 371 с.

7. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии - М.:Химия,1985. – 448 с.

8. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Перов В.Л. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств, М.: Химия, 1979. – 320 с.

9. Дворецкий С.И., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования: учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. Техн. Ун-та, 2003. – 224 с.

10. Руководство по работе с базами данных учебно-методического комплекса по проблемам химической безопасности / Составители: Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Горанский А.В., Курбатова М.Г. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 164 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстрационный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям и отдельным практическим занятиям.
- Видеолекции.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- «Теоретические основы химической технологии», ISSN – 0040-3571;
- «Автоматизация в промышленности», ISSN – 1819-5962;
- «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика», ISSN – 2073-0004;
- «СТА: современные технологии автоматизации», ISSN – 0206-975X;
- «Программные продукты и системы», ISSN (печатной версии) – 0236-235X, ISSN (онлайновой версии) – 2311-2735;
- «Химическая промышленность сегодня», ISSN – 0023-110X;
- «Химическая технология», ISSN – 1684-5811;
- «Стандарты и качество», ISSN – 0038-9692;
- «Контроль качества продукции», ISSN – 2541-9900;

- «Безопасность труда в промышленности», ISSN – 0409-2961;
- «Безопасность в техносфере», ISSN – 1998-071X;
- «Информационные технологии в проектировании и производстве», ISSN – 2073-2597;
- «Химическое и нефтегазовое машиностроение», ISSN – 023-1126.

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <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
- <https://www.fips.ru/registers-web/> - Сайт ФИПС. Открытые реестры
- <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека
- <https://neolant.group/> - Сайт группы компаний «Неолант»
- <http://ib.safety.ru/> - Информационные бюллетени Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
- <http://www.aieco.ru/> - сайт научно-производственного предприятия «Авиаинструмент»

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- электронные конспекты лекций по 8 темам;
- теоретические положения и примеры выполнения лабораторных работ;
- задания по лабораторным работам;
- конвертер инженерных моделей InterBridge;
- менеджер коллизий;
- программный комплекс ПОЛИНОМ.

Для изучения дисциплины в рамках онлайн-курса:

- компьютерные презентации интерактивных лекций и отдельных практических занятий (общее число презентаций – 8);

Указанные информационно-образовательные ресурсы размещены на учебном портале РХТУ им. Д. И. Менделеева (study.muctr.ru).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн с использованием LMS Moodle, включая обмен сообщениями, новостной форум и др., и платформы проведения видеоконференций Яндекс Телемост, МТС Линк.

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 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 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 *«Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса»* проводятся в форме лекций, лабораторных работ и самостоятельной работы обучающегося.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеется 3 компьютерных класса с 33 компьютерами (2 для работы преподавателей, 31 для работы студентов) и 1 выделенный сервер. Все компьютеры имеют доступ к сети Интернет.

Для проведения лабораторных занятий по дисциплине имеются: многофункциональная лаборатория, оборудованная мультимедийным оборудованием, имеющая 10 персональных компьютеров, объединенных в локальную сеть с выходом в сеть Интернет, и одно многофункциональное устройство; компьютерный класс, оборудованный 9 компьютерами, объединенными в локальную сеть с выходом в Интернет, и одним принтером.

Кафедра обладает стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

Информационно-образовательные ресурсы дисциплины размещены на учебном портале РХТУ им. Д. И. Менделеева (study.muctr.ru).

При осуществлении образовательного процесса магистрантов, обучающихся по направлению 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий» по дисциплине «Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса» используется современное программное обеспечение: специализированное программное обеспечение InterBridge, ПОЛИНОМ и др.

11.2. Учебно-наглядные пособия:

По дисциплине «Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса» доступна рабочая программа, размещенная на сайте университета. Реализованы лекции по

учебным модулям в соответствии с рабочей программой дисциплины. Доступны комплексы лабораторных работ, включающие типовые примеры выполнения работ и требования к отчетам, варианты заданий, руководство по работе с моделирующим программным обеспечением.

Магистранты могут использовать данные электронные ресурсы для самостоятельной подготовки.

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

На кафедре КХТП для проведения лабораторных занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях или при проведении лабораторных работ на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки.

Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: учебные пособия; методические рекомендации к практическим занятиям; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде.

На кафедре КХТП электронные образовательные ресурсы: междисциплинарная автоматизированная система обучения на основе сетевых технологий для подготовки химиков-технологов; инновационный учебно-методический комплекс по проблемам химической безопасности и биологической безопасности; специализированное программное обеспечение; базы данных специализированного назначения, используемые при изучении соответствующих разделов дисциплины «Создание цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливно-энергетического и общепромышленного комплекса».

Электронные образовательные ресурсы по дисциплине размещены на учебном портале РХТУ им. Д.И. Менделеева (study.muctr.ru).

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1.	Microsoft Office Standard 2013	Контракт № 62-64ЭА/2013 от 02.12.2013	24 лицензии для активации на рабочих станциях	бессрочная
2.	Microsoft Office Standard 2019 В составе: • Word • Excel • Power Point	Контракт №175- 262ЭА/2019 от 30.12.2019	15 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода

№ п/ п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
	• Outlook			на обновлённ ую)
3.	Microsoft Windows 8.1 Professional Get Genuine	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License, Номер лицензии 62795478	16 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная
4.	InterBridge	Лицензионный договор № 11.46-Л-1.0-9058/2025 От 31.03.2025	50 лицензий для активации на рабочих станциях	в процессе согласован ия с разработчи ком ПО
5.	ПОЛИНОМ	Лицензионный договор № 11.46-Л-1.0-9058/2025 От 31.03.2025	50 лицензий для активации на рабочих станциях	в процессе согласован ия с разработчи ком ПО

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Программный комплекс ПОЛИНОМ	Знает: основные принципы и концепции цифрового моделирования промышленных объектов и процессов; современные методы и технологии создания цифровых двойников и моделей (например, CAD, систем автоматизированного проектирования); особенности моделирования объектов химической, нефтегазохимической, энергетической и других отраслей промышленности; основы программных средств для моделирования и анализа промышленных систем; методы оценки точности и достоверности созданных моделей; Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования; ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств; разрабатывать модели сложных промышленных объектов с учетом специфики отрасли; использовать современные программные средства для создания и тестирования моделей; интерпретировать результаты моделирования для принятия управленческих решений. Владеет: методами формализации задач проектирования химических производств в детерминированных условиях и в условиях неопределенности; навыками использования специализированного программного обеспечения для создания цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса (InterBridge, ПОЛИНОМ); умением собирать исходные данные для моделирования из различных источников; навыками проведения анализа результатов моделирования; способностью документировать и представлять результаты своей работы в виде отчетов; навыками командной работы при реализации комплексных проектов по созданию цифровых моделей.	Оценки за лабораторные работы № 1, 2, 3. Оценка на зачете с оценкой

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 2. Конвертер инженерных моделей InterBridge. Приемы работы с моделью	Знает: основные принципы и концепции цифрового моделирования промышленных объектов и процессов; современные методы и технологии создания цифровых двойников и моделей (например, CAD, систем автоматизированного проектирования); особенности моделирования объектов химической, нефтегазохимической, энергетической и других отраслей промышленности; основы программных средств для моделирования и анализа промышленных систем; Умеет: ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств; разрабатывать модели сложных промышленных объектов с учетом специфики отрасли; использовать современные программные средства для создания и тестирования моделей; интерпретировать результаты моделирования для принятия управленческих решений. Владет: навыками использования специализированного программного обеспечения для создания цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса (InterBridge, ПОЛИНОМ); умением собирать исходные данные для моделирования из различных источников; навыками проведения анализа результатов моделирования; способностью документировать и представлять результаты своей работы в виде отчетов; навыками командной работы при реализации комплексных проектов по созданию цифровых моделей.	Оценка за лабораторную работу № 4 Оценка на зачете с оценкой
Раздел 3. Менеджер коллизий	Знает: основные принципы и концепции цифрового моделирования объектов химической, нефтегазохимической, энергетической и других отраслей промышленности; основы программных средств для моделирования и анализа промышленных систем; методы оценки точности и достоверности	

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	созданных моделей; правила обеспечения безопасности и экологической устойчивости при использовании цифровых технологий. Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов проектирования; ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств; использовать современные программные средства для создания и тестирования моделей; интерпретировать результаты моделирования для принятия управленческих решений. Владеет: навыками использования специализированного программного обеспечения для создания цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса (InterBridge, ПОЛИНОМ); способностью документировать и представлять результаты своей работы в виде отчетов; навыками командной работы при реализации комплексных проектов по созданию цифровых моделей.	Оценка за лабораторную работу № 5 Оценка на зачете с оценкой
Раздел 4. Создание цифровых моделей	Знает: основные принципы и концепции цифрового моделирования промышленных объектов и процессов; современные методы и технологии создания цифровых двойников и моделей (например, CAD, систем автоматизированного проектирования); особенности моделирования объектов химической, нефтегазохимической, энергетической и других отраслей промышленности; основы программных средств для моделирования и анализа промышленных систем; методы оценки точности и достоверности созданных моделей; правила обеспечения безопасности и экологической устойчивости при использовании цифровых технологий. Умеет: проводить анализ типового оборудования и установок химических производств как объектов	Оценка на зачете с оценкой Оценка за лабораторную работу №6

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	проектирования; ставить и формулировать задачи моделирования и проектирования оборудования, установок химических производств; разрабатывать модели сложных промышленных объектов с учетом специфики отрасли; использовать современные программные средства для создания и тестирования моделей; интерпретировать результаты моделирования для принятия управленческих решений. Владеет: методами формализации задач проектирования химических производств в детерминированных условиях и в условиях неопределенности; навыками использования специализированного программного обеспечения для создания цифровых моделей объектов химического, нефтегазохимического, топливноэнергетического и общепромышленного комплекса (InterBridge, ПОЛИНОМ); умением собирать исходные данные для моделирования из различных источников; навыками проведения анализа результатов моделирования; способностью документировать и представлять результаты своей работы в виде отчетов; навыками командной работы при реализации комплексных проектов по созданию цифровых моделей.	

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 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 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
«Создание цифровых моделей объектов химического,
нефтегазохимического, топливно-энергетического
и общепромышленного комплекса»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки
 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
 нефтехимии и биотехнологии»
 Магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»

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.

**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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория эксперимента»

Направление подготовки

**18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической техноло-
гии, нефтехимии и биотехнологии**

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена: профессором кафедры кибернетики ХТП, д.т.н. Писаренко Е.В.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов « 12 » _____ мая _____ 2025 г., протокол № 8 _____.

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, магистерская программа «Кибернетика химико-технологических процессов», рекомендациями методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И.Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина «Теория эксперимента» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики, вычислительной математики, макрокинетики химических процессов, гетерогенного катализа, общей и неорганической химии, органической химии.

Цель дисциплины – научить магистранта активно применять методы и средства основ теории планирования и анализа непрерывного и статического эксперимента для решения конкретных задач выбора научных гипотез о механизме изучаемого физико-химического процесса; построения моделей для возможных гипотез; проверке адекватности моделей физико-химического процесса результатам эксперимента и направленной коррекции моделей; прецизионной оценки параметров моделей и выбора модели из совокупности конкурирующих, отражающей основные особенности динамики и статистики изучаемого процесса.

Задачи дисциплины:

- освоение магистрантами основ теории оценивания констант линейно- и нелинейно параметризованных моделей, в том числе байесовских методов оценивания, методов наименьших квадратов и максимального правдоподобия,
- приобретение практических навыков построения планов эксперимента со свойствами D-, A-, E-, G- оптимальности,
- приобретение практических навыков планирования дискриминирующих экспериментов и решения проблемы поиска высокоточной математической модели исследуемых химических и биохимических процессов.
- формирования у магистрантов опыта и навыков построения оптимальной стратегии экспериментирования при изучении химических и биохимических процессов, построения прецизионных моделей химических и биохимических процессов, допускающих их практическое использование;
- ознакомления магистрантов с основными принципами выбора научных гипотез, построения моделей для возможных гипотез, проверки адекватности построенных моделей химических и биохимических процессов результатам эксперимента;
- ознакомления с методами планирования и анализа непрерывного и статического эксперимента для прецизионной оценки параметров моделей и выбора модели из совокупности конкурирующих, отражающей основные особенности динамики и статистики изучаемых химических и биохимических процессов;
- проведения практических работ с применением современных средств вычислительной техники.

Курс «Теория эксперимента» в соответствии с учебным планом подготовки магистра преподается в 3 –м 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 **профессиональных компетенций и индикаторов 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
Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности				
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 – 6)
			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	

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-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 деятельности и методики анализа явлений и процессов	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 – 6)

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- основы теории планирования научного эксперимента, построения моделей химических и биохимических процессов и оценки их параметров, проверки научных и научно-технических гипотез;
- основы теории оценивания параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей химических и биохимических процессов;
- планы эксперимента. Дискретные и непрерывные планы. Критерии оптимальности планов D-, A-, E-, G-. Метод случайного баланса;
- сущность теоремы эквивалентности;
- байесовский подход к прецизионной оценке параметров моделей химических и биохимических процессов;
- непрерывные оптимальные планы эксперимента для оценки параметров кинетических моделей и моделей кинетики адсорбции. Методы синтеза оптимальных тестирующих индикаторных сигналов;
- методы проверки статистических гипотез. Критерии проверки гипотез. Функции мощности критерия, несмещенные и равномерно наиболее мощные критерии;
- методы планирования динамического эксперимента для прецизионной оценки параметров моделей гидродинамической структуры потоков, зерна катализатора, каталитического реактора;
- методы дискриминации математических моделей – энтропийный, отношения вероятностей;
- обобщенные критерии оптимальности при планировании дискриминирующих экспериментов;

Уметь:

- выбирать оптимальную стратегию проведения экспериментальных исследований;
- осуществлять построение моделей экспериментального оборудования;
- оценивать параметры линейно- и нелинейно параметризованных одно- и многоот-кликковых моделей методами наименьших квадратов и максимального правдоподобия;
- синтезировать оптимальные тестирующие индикаторные сигналы;
- планировать проведение динамического эксперимента;
- проводить оценку информативности эксперимента;
- использовать теорему эквивалентности при создании процедур построения планов эксперимента;
- рассчитывать значения элементов информационной матрицы и величин критериев оптимальности планов;
- использовать байесовские процедуры для прецизионной оценки параметров моделей химических и биохимических процессов;
- использовать неявные конечно-разностные и коллокационные методы решения уравнений моделей химических и биохимических процессов;
- использовать методы Бартлетта и Хагао – проверки адекватности многооткликковых моделей химических и биохимических процессов экспериментальным данным;
- осуществлять дискриминацию математических моделей химических и биохимических процессов с использованием критериев дискриминации, основанных на качественном и количественном анализе динамических и статических свойств моделей (χ^2 -критерий, энтропийный критерий Кульбака, обобщенный критерий отношения вероятностей);
- проводить оценку надежности принятия решений о выборе наилучшей модели;

Владеть:

- методами планирования непрерывного и статического эксперимента для установления оптимальной стратегии проведения экспериментальных исследований;
- методами синтеза оптимальных тестирующих индикаторных сигналов;
- методами проверки статистических гипотез;

- методами оценки параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей химических и биохимических процессов;
- методами оценки параметров моделей химических и биохимических процессов при использовании априорной информации о физико-химических свойствах объекта исследований;
- методами проверки адекватности разработанных моделей химических и биохимических процессов экспериментальным данным;
- методами дискриминации математических моделей химических и биохимических процессов;
- практическими приемами применения вычислительной техники для решения задач, изучаемых в настоящей дисциплине.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	4	144	108
Контактная работа – аудиторные занятия:	1,41	51	38,25
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0,94	34	25,5
Самостоятельная работа	2,59	93	69,75
Контактная самостоятельная работа	2,59	92,6	69,45
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		0,4	0,3
Вид итогового контроля:	Зачет с оценкой		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Раздел дисциплины	Акад. часов			
		Всего	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
	Введение. Задачи курса. Классификация научных и научно-технических задач химической инженерии. Общие подходы к их решению.	0,5	0,5	-	-
1	Раздел 1. Лабораторные исследования химических и биохимических процессов, их цели и задачи. Лабораторные химические реакторы.	15	2	3	10
1.1	Цели и задачи лабораторных исследований химических и биохимических процессов.	0,5	0,5	-	-
1.2	Типы моделей кинетики химических реакций.	3	0,5	0,5	2
1.3	Модели реакторов при стационарных	2,5	0,5	-	2

	и нестационарных условиях протекания химических процессов.				
1.4	Конструкции лабораторных реакторов – проточные и проточно-циркуляционные реакторы.	2,5	0,5	-	2
1.5	Методика проведения лабораторных экспериментов.	2	-	-	2
1.6	Анализ результатов экспериментов.	0,5	-	0,5	-
1.7	Определение оценок параметров моделей по результатам лабораторного эксперимента. Применение методов статистического моделирования при определении соответствия математической модели результатам эксперимента.	4	-	2	2
2	Раздел 2 Основы теории оценивания. Оценка параметров линейно- и нелинейно параметризованных одно- и многооткликовых моделей химических и биохимических процессов.	16	2	4	10
2.1	Выборочный метод, распределение выборки, выборочные оценки. Общие требования, предъявляемые к оценкам. Оптимальные линейные оценки.	4	0,5	0,5	3
2.2	Оценка параметров одно- и многооткликовых линейно и нелинейно параметризованных моделей при равноточных и неравноточных наблюдениях.	9	1	3	5
2.3	Неравенство информации, оценки с минимальной дисперсией и достаточные оценки. Асимптотические свойства оценок максимального правдоподобия.	3	0,5	0,5	2
3	Раздел 3 Планы эксперимента. Дискретные и непрерывные планы. Критерии оптимальности планов. Численные методы построения D-оптимальных и минимаксных планов при исследовании химических и биохимических процессов.	15	2	3	10
3.1	Планы экспериментов. Область экспериментирования. Спектр плана. Вероятностная мера плана. Точные и непрерывные оптимальные планы.	3	0,5	0,5	2
3.2	Метод случайного баланса. Теория распознавания образов и методы теории регрессионного и конфлюентно-	4,5	0,5	1	3

	го анализа				
3.3	D-, A-, E-, G-критерии оптимальности планов. Геометрическая интерпретация критериев оптимальности.	4	0,5	0,5	3
3.4	Численные методы построения D-оптимальных непрерывных планов эксперимента для линейно параметризованных однооткликowych и многооткликowych моделей химических и биохимических процессов.	3,5	0,5	1	2
4	Раздел 4. Теорема эквивалентности оптимальных планов.	13	1	2	10
4.1	Основные свойства информационной матрицы. Взвешенная сумма дисперсий оценок отклика. Нижняя граница максимальной величины взвешенной дисперсии оценки отклика.	3,5	0,5	-	3
4.2	Теорема эквивалентности оптимальных планов эксперимента, ее доказательство.	3,5	0,5	-	3
4.3	Использование утверждений теоремы эквивалентности при создании процедур построения планов эксперимента для химических и биохимических процессов.	6	-	2	4
5	Раздел 5. Байесовский подход к оценке параметров линейно- и нелинейно параметризованных моделей химических и биохимических процессов.	13	1	2	10
5.1	Байесовский подход к решению задачи прецизионной оценки параметров модели. Субъективная интерпретация априорной информации. Апостериорная плотность распределения вероятностей вектора параметров и откликов модели.	3	0,5	0,5	2
5.2	Однооткликowe модели. Байесовские процедуры уточнения их параметров. Построение последовательных планов эксперимента.	3,5	-	0,5	3
5.3	Многооткликowe модели. Последовательные байесовские процедуры прецизионной оценки их параметров. Непрерывные планы эксперимента.	6,5	0,5	1	5
6	Раздел 6. Непрерывные оптимальные планы эксперимента для оценки параметров кинетических моделей и моделей кинетики адсорбции. Синтез оптимальных тестирующих индикаторных сигнала-	16	2	4	10

	ЛОВ.				
6.1	Классификация задач непрерывной параметрической идентификации. Процедуры оптимальной организации лабораторного и стендового эксперимента.	2,5	0,5	-	2
6.2	Построение моделей экспериментального оборудования для реализации химических и биохимических процессов.	3,5	0,5	1	2
6.3	Синтез оптимальных тестирующих индикаторных сигналов. Оценка информативности эксперимента.	6,5	0,5	2	4
6.4	Классификация кинетических моделей, моделей кинетики адсорбции. Основные математические методы решения уравнений моделей. Расчет информационной матрицы и величин критериев оптимальности планов.	3,5	0,5	1	2
7	Раздел 7. Планирование динамического эксперимента для прецизионной оценки параметров моделей гидродинамической структуры потоков, зерна катализатора, каталитического реактора.	16	2	4	10
7.1	Классификация идентифицируемых моделей структуры потоков в реакторе, моделей зерна катализатора, моделей каталитического реактора.	3,5	0,5	1	2
7.2	Планирование динамического эксперимента. Синтез оптимальных индикаторных сигналов, процедуры раздельной и совместной подачи различных индикаторов в исследуемый объект.	3,5	0,5	1	2
7.3	Неявные конечно-разностные и коллокационные методы решения уравнений моделей химических и биохимических процессов.	3,5	0,5	1	2
7.4	Построение оптимальных планов проведения динамического эксперимента. Оценка точности получаемых оценок параметров модели.	5,5	0,5	1	4
8	Раздел 8. Проверка статистических гипотез. Простые и сложные гипотезы. Критерии проверки гипотез. Функция мощности критерия, несмещенные и равномерно наиболее мощные критерии.	15	1	4	10
8.1	Простые и сложные параметрические гипотезы. Нулевая гипотеза. Крите-	3,5	0,5	1	2

	рии статистической гипотезы. Основные статистики для формирования различных критериев. Ошибки первого и второго рода.				
8.2	Функция мощности критерия. Несмещенный, наиболее мощный, равномерно наиболее мощный критерии. Условия существования равномерно наиболее мощного критерия, теорема Неймана-Пирсона.	3	-	1	2
8.3	Метод отношения правдоподобия. Методы Бартлетта и Хагао – проверки адекватности многоотклитковых моделей химических и биохимических процессов и систем экспериментальным данным.	8,5	0,5	2	6
9	Раздел 9. Дискриминация математических моделей. Методы дискриминации – энтропийный, отношения вероятностей.	14	2	5	7
9.1	Общие подходы к дискриминации математических моделей химических и биохимических процессов. Недостатки традиционных методов дискриминации моделей.	3	0,5	0,5	2
9.2	Критерии дискриминации, основанные на качественном анализе динамических и статических свойств моделей. Количественные критерии дискриминации моделей - χ^2 -критерий, энтропийный критерий Кульбака, обобщенный критерий отношения вероятностей. Их основные достоинства и недостатки.	6	1	2	3
9.3	Построение процедур выбора модели, наиболее соответствующей экспериментальным данным, среди совокупности конкурирующих. Байесовские методы, методы обобщенного отношения вероятностей. Оценка надежности решений о выборе наилучшей модели.	5	0,5	2,5	2
10	Раздел 10. Планирование дискриминирующих экспериментов. Обобщенные критерии оптимальности. Оценка надежности принимаемых решений.	10	1	3	6
10.1	Стратегия эффективного экспериментирования при дискриминации конкурирующих моделей. Дискриминантная функция Кульбака. По-	3,5	0,5	1	2

	строение последовательного плана эксперимента, обеспечивающего максимальный прирост дискриминантной функции Кульбака.				
10.2	Функция обобщенного отношения правдоподобия. Построение плана дискриминирующего эксперимента, обеспечивающего максимальный прирост суммы величин логарифма обобщенного отношения правдоподобия. Оценка надежности принимаемых решений.	3,5	0,5	1	2
10.3	Комплексные критерии дискриминации моделей и уточнение их параметров. Выбор оптимальной стратегии экспериментирования при решении задач химической инженерии.	3	-	1	2
	Заключение.	0,5	0,5	-	-
	Всего	144	17	34	93

4.2. Содержание разделов дисциплины

Введение. Задачи курса. Классификация научных и научно-технических задач химической инженерии. Общие подходы к их решению.

Задачи курса и его роль при моделировании химических и биохимических процессов. Общие подходы к решению проблемы установления механизма изучаемых химических и биохимических процессов и построению по экспериментальным данным адекватных им математических моделей. Методы планирования научного эксперимента, оценки параметров моделей, проверка научных и научно-технических гипотез. Последовательный статистический анализ, построение функций потерь и статических решающих функций. Выбор оптимальной стратегии проведения экспериментальных исследований.

Раздел 1. Лабораторные исследования химических и биохимических процессов, их цели и задачи. Лабораторные химические реакторы.

- 1.1. Цели и задачи лабораторных исследований химических и биохимических процессов.
- 1.2. Типы моделей кинетики химических реакций.
- 1.3. Модели реакторов при стационарных и нестационарных условиях протекания химических процессов.
- 1.4. Конструкции лабораторных реакторов – проточные и проточно-циркуляционные реакторы.
- 1.5. Методика проведения лабораторных экспериментов.
- 1.6. Анализ результатов экспериментов. Ошибки экспериментов скалярного и векторного типов. Плотности и функции распределения случайных ошибок эксперимента. Методы моделирования на ЭВМ случайных величин с априори заданными плотностями распределения. Преобразования скалярных и векторных случайных величин. Критерии независимости случайных величин. Линейные и нелинейные преобразования моделей химических процессов.
- 1.7. Определение оценок параметров моделей по результатам лабораторного эксперимента. Применение методов статистического моделирования при определении соответствия математической модели результатам эксперимента.

Раздел 2. Основы теории оценивания. Оценка параметров линейно- и нелинейно параметризованных одно- и многооткликовых моделей химических и биохимических процессов.

2.1. Выборочный метод, распределение выборки, выборочные оценки. Общие требования, предъявляемые к оценкам. Оптимальные линейные оценки.

2.2. Оценка параметров одно- и многооткликовых линейно и нелинейно параметризованных моделей при равнооточных и неравнооточных наблюдениях. Точечные оценки параметров, дисперсионно-ковариационная матрица оценок параметров, точечная оценка значений откликов, дисперсионно-ковариационная матрица точечных оценок значений откликов.

2.3. Неравенство информации, оценки с минимальной дисперсией и достаточные оценки. Оценка вектора параметров модели. Асимптотические свойства оценок максимального правдоподобия.

Раздел 3. Планы эксперимента. Дискретные и непрерывные планы. Критерии оптимальности планов. Численные методы построения D-оптимальных и минимаксных планов при исследовании химических и биохимических процессов.

3.1. Планы экспериментов. Область экспериментирования. Спектр плана. Вероятностная мера плана. Точные и непрерывные оптимальные планы.

3.2. Метод случайного баланса. Экспериментальное определение доминирующих эффектов факторов, среди общей совокупности конкурирующих, и существенно превышающие доминирующие и общее число поставленных опытов. Для оценки числа доминирующих факторов используются теория распознавания образов и методы теории регрессионного и конъюнктного анализа. Метод случайного баланса иллюстрируется на примерах синтеза материалов, используемых в катализе.

3.3. D-, A-, E-, G-критерии оптимальности планов. Геометрическая интерпретация критериев оптимальности.

3.4. Численные методы построения D-оптимальных непрерывных планов эксперимента для линейно параметризованных однооткликовых и многооткликовых моделей химических и биохимических процессов.

Раздел 4. Теорема эквивалентности оптимальных планов.

4.1 Основные свойства информационной матрицы. Взвешенная сумма дисперсий оценок отклика. Нижняя граница максимальной величины взвешенной дисперсии оценки отклика.

4.2. Теорема эквивалентности оптимальных планов эксперимента, ее доказательство.

4.3. Использование утверждений теоремы эквивалентности при создании процедур построения планов эксперимента для химических и биохимических процессов.

Раздел 5. Байесовский подход к оценке параметров линейно- и нелинейно параметризованных моделей химических и биохимических процессов.

5.1. Байесовский подход к решению задачи прецизионной оценки параметров модели. Субъективная интерпретация априорной информации. Теорема Байеса. Апостериорная плотность распределения вероятностей вектора параметров и откликов модели.

5.2. Однооткликовые модели. Байесовские процедуры уточнения их параметров. Построение последовательных планов эксперимента.

5.3. Многооткликовые модели. Последовательные байесовские процедуры прецизионной оценки их параметров. Непрерывные планы эксперимента.

Раздел 6. Непрерывные оптимальные планы эксперимента для оценки параметров кинетических моделей и моделей кинетики адсорбции. Синтез оптимальных тестирующих индикаторных сигналов.

6.1. Классификация задач непрерывной параметрической идентификации. Процедуры оптимальной организации лабораторного и стендового эксперимента.

- 6.2. Построение моделей экспериментального оборудования для реализации для химических и биохимических процессов.
- 6.3. Синтез оптимальных тестирующих индикаторных сигналов. Оценка информативности эксперимента.
- 6.4. Классификация кинетических моделей, моделей кинетики адсорбции. Основные математические методы решения уравнений моделей. Расчет информационной матрицы и величин критериев оптимальности планов.

Раздел 7. Планирование динамического эксперимента для прецизионной оценки параметров моделей гидродинамической структуры потоков, зерна катализатора, каталитического реактора.

- 7.1. Классификация идентифицируемых моделей структуры потоков в реакторе, моделей зерна катализатора, моделей каталитического реактора.
- 7.2. Планирование динамического эксперимента. Синтез оптимальных индикаторных сигналов, процедуры раздельной и совместной подачи различных индикаторов в исследуемый объект.
- 7.3. Неявные конечно-разностные и коллокационные методы решения уравнений моделей химических и биохимических процессов.
- 7.4. Построение оптимальных планов проведения динамического эксперимента. Оценка точности получаемых оценок параметров модели.

Раздел 8. Проверка статистических гипотез. Простые и сложные гипотезы. Критерии проверки гипотез. Функция мощности критерия, несмещенные и равномерно наиболее мощные критерии.

- 8.1. Простые и сложные параметрические гипотезы. Нулевая гипотеза. Критерии статистической гипотезы. Основные статистики для формирования различных критериев. Ошибки первого и второго рода.
- 8.2. Функция мощности критерия. Несмещенный, наиболее мощный, равномерно наиболее мощный критерии. Условия существования равномерно наиболее мощного критерия, теорема Неймана-Пирсона.
- 8.3. Метод отношения правдоподобия. Методы Бартлетта и Хагао – проверки адекватности многоотклитковых моделей химических и биохимических процессов экспериментальным данным.

Раздел 9. Дискриминация математических моделей. Методы дискриминации – энтропийный, отношения вероятностей.

- 9.1. Общие подходы к дискриминации математических моделей химических и биохимических процессов. Недостатки традиционных методов дискриминации моделей.
- 9.2. Критерии дискриминации, основанные на качественном анализе динамических и статических свойств моделей. Количественные критерии дискриминации моделей - χ^2 -критерий, энтропийный критерий Кульбака, обобщенный критерий отношения вероятностей. Их основные достоинства и недостатки.
- 9.3. Построение процедур выбора модели, наиболее соответствующей экспериментальным данным, среди совокупности конкурирующих. Байесовские методы, методы обобщенного отношения вероятностей. Оценка надежности решений о выборе наилучшей модели.

Раздел 10. Планирование дискриминирующих экспериментов. Обобщенные критерии оптимальности. Оценка надежности принимаемых решений.

- 10.1. Стратегия эффективного экспериментирования при дискриминации конкурирующих моделей. Дискриминантная функция Кульбака. Построение последовательного плана эксперимента, обеспечивающего максимальный прирост дискриминантной функции Кульбака.

10.2. Функция обобщенного отношения правдоподобия. Построение плана дискриминирующего эксперимента, обеспечивающего максимальный прирост суммы величин логарифма обобщенного отношения правдоподобия. Оценка надежности принимаемых решений.

10.3. Комплексные критерии дискриминации моделей и уточнение их параметров. Выбор оптимальной стратегии экспериментирования при решении задач химической инженерии.

Заключение. Заключительная лекция по подведению итогов курса.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 9	Раздел 10
	Знать:										
1.	Основы теории планирования научного эксперимента, построения моделей химических и биохимических процессов и оценки их параметров, проверки научных и научно-технических гипотез	+						+			
2.	Основы теории оценивания параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей химических и биохимических процессов		+						+		
3.	Планы эксперимента. Дискретные и непрерывные планы. Критерии оптимальности планов D-, A-, E-, G- и их геометрическую интерпретацию. Метод случайного баланса;			+							
4.	Сущность теоремы эквивалентности				+						
5.	Байесовский подход к прецизионной оценке параметров моделей химических и биохимических процессов					+					
6.	Непрерывные оптимальные планы эксперимента для оценки параметров кинетических моделей и моделей кинетики адсорбции. Методы синтеза оптимальных тестирующих индикаторных сигналов						+				
7.	Методы проверки статистических гипотез. Критерии проверки гипотез. Функции мощности критерия, несмещенные и равномерно наиболее мощные критерии								+		
8.	Методы планирования динамического эксперимента для прецизионной оценки параметров моделей гидродинамической структуры потоков, зерна катализатора, каталитического реактора							+			
9.	Методы дискриминации математических моделей – энтропийный, отношения вероятностей									+	
10.	Обобщенные критерии оптимальности при планировании дискриминирующих экспериментов										+
	Уметь:										
11.	Выбирать оптимальную стратегию проведения экспериментальных исследований			+			+			+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 9	Раздел 10
12.	Осуществлять построение моделей экспериментального оборудования	+					+				
13.	Оценивать параметры линейно- и нелинейно параметризованных одно- и многооткликовых моделей методами наименьших квадратов и максимального правдоподобия		+								
14.	Синтезировать оптимальные индикаторные тестирующие сигналы						+				
15.	Планировать проведение динамического эксперимента							+			
16.	Проводить оценку информативности эксперимента					+					
17.	Использовать теорему эквивалентности при создании процедур построения планов эксперимента				+						
18.	Рассчитывать значения элементов информационной матрицы и величин критериев оптимальности планов			+			+				
19.	Использовать неявные конечно-разностные и коллокационные методы решения уравнений моделей химических и биохимических процессов							+			
20.	Использовать методы Бартлетта и Хагао – проверки адекватности многооткликовых моделей химических и биохимических процессов экспериментальным данным								+		
21.	Осуществлять дискриминацию математических моделей химических и биохимических процессов с использованием критериев дискриминации, основанных на качественном и количественном анализе динамических и статических свойств моделей (χ^2 -критерий, энтропийный критерий Кульбака, обобщенный критерий отношения вероятностей)									+	
22.	Проводить оценку надежности принятия решений о выборе наилучшей модели								+		+
23.	Использовать байесовские процедуры для прецизионной оценки параметров математических моделей химических и биохимических процессов					+					
	Владеть:										
24.	Методами планирования непрерывного и статического эксперимента для установления оптимальной стратегии проведения экспериментальных исследований	+		+							
25.	Методами проверки статистических гипотез								+		
26.	Методами синтеза оптимальных тестирующих индикаторных сигналов						+				
27.	Методами оценки параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей химических и био-		+		+						

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 9	Раздел 10
	химических процессов										
28.	Методами оценки параметров моделей химических и биохимических процессов при использовании априорной информации о физико-химических свойствах объекта исследований					+					
29.	Методами проверки адекватности разработанных моделей химических и биохимических процессов экспериментальным данным								+		
30.	Методами дискриминации математических моделей химических и биохимических процессов									+	+
31.	Практическими навыками применения вычислительной техники для решения задач, изучаемых в настоящей дисциплине.							+			
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:											
	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК									
32	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		+	+	+	+	+	+	+	+
		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		+	+	+	+	+	+	+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 9	Раздел 10
33	ПК-2. Готов к анализу и систематизации научнотехнической 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 деятельности и методики анализа явлений и процессов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1.1, 1.6-1.7	Практическое занятие 1 Определение условий классической корректности решения задач по Адамару и определение условий проверки научных гипотез по Колмогорову для заданных математических моделей	0,5
2	1.2,1.3	Практическое занятие 2 Определение режимов работы физико-химических объектов по нелинейным математическим моделям.	0,5
3	1.6-1.7	Практическое занятие 3 Определение векторов математических ожиданий и дисперсионно-ковариационных матриц для заданных двумерных плотностей распределения вероятностей	0,5
4	1.6-1.7	Практическое занятие 4 Определение частных плотностей распределения по совместным плотностям распределения случайных векторов и определение условий независимости двух случайных векторов	0,5
5	1.6-1.7	Практическое занятие 5 Формирование условных плотностей распределения	0,5
6	1.6-1.7	Практическое занятие 6 Линейные преобразования нормальных случайных векторов и построение плотностей распределения преобразованных векторов.	0,5
7	2,1-2,3	Практическое занятие 7 Определение неизвестных параметров двухоткликовых линейнопараметризованных моделей и расчет элементов дисперсионно-ковариационных матриц оценок параметров и откликов моделей.	4
8	2,2, 3.1-3.4	Практическое занятие 8 Построение непрерывного D-оптимального плана эксперимента при равнооточных измерениях для заданных линейнопараметризованных двухоткликовых моделей.	3

9	2,2, 3.1-3.4, 4.1-4.3	Практическое занятие 9 Построение непрерывного G-оптимального плана эксперимента при неравноточных измерениях для заданных линейно-параметризованных двухоткликовых моделей.	2
10	5.1-5.3	Практическое занятие 10 Планирование непрерывных экспериментов при байесовском оценивании параметров.	2
11	6.1-6.4	Практическое занятие 11 Синтез оптимальных тестирующих индикаторных сигналов для оценки кинетических констант моделей каталитических реакций, проводимых в реакторах идеального смешения.	4
12	7.1-7.4	Практическое занятие 12 Синтез оптимальных тестирующих индикаторных сигналов для оценки макрокинетических параметров моделей проточных реакторов с обратным перемешиванием.	4
13	8.1-8.3	Практическое занятие 13 Проверка адекватности многооткликовых математических моделей.	4
14	9.1-9.3, 10.1	Практическое занятие 14 Дискриминация кинетических моделей с использованием различных критериев.	5
15	3.2, 10.2-10.3	Практическое занятие 15 Метод случайного баланса при поисках доминирующих эффектов факторов при синтезе активных катализаторов.	3
		ИТОГО	34

6.2. Лабораторные работы

Лабораторные работы не предусмотрены.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку к контрольным работам;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;
- использование тестов промежуточного контроля знаний междисциплинарной автоматизированной системы обучения (АСО) для проверки знаний по отдельным разделам дисциплины,
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня,
- подготовку к сдаче зачёта по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимую для изучения 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 учебной программе. При работе с указанными источниками рекомендует-

ся составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

(РАЗДЕЛ ВЫПОЛНЕН В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ)

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

8.1. Темы и примеры контрольных работ для текущего контроля освоения дисциплины

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

РАЗДЕЛЫ 1- 2.

Контрольная работа №1 Решение типовых задач по разделу математические основы дисциплины «Теория эксперимента».

Максимальная оценка –20 баллов.

РАЗДЕЛЫ 3-4.

Контрольная работа №2 Решение типовых задач по оценке параметров однооткликowych моделей и расчету зависимости отклика от независимых параметров и дисперсии отклика по его траектории, а также оценка максимального числа, допускающих оценку констант по заданной совокупности наблюдений и установлению оптимальных условий проведения эксперимента с использованием критериев D-, A-, E- G- оптимальности плана эксперимента.

Максимальная оценка –20 баллов.

РАЗДЕЛЫ 5-10

Контрольная работа №3 Решение типовых задач оценки параметров двуоткликowych линейнопараметризованных моделей, построения дисперсионно-ковариационных матриц оценок параметров и расчета дисперсионно-ковариационных матриц прогноза по модели как функции условий проведения эксперимента при заданных результатах серии из 3-х экспериментов и дисперсионно-ковариационных матрицах ошибок наблюдений. Построение стратегии проведения дискриминирующего эксперимента для заданных двух линейнопараметризованных моделей с использованием энтропийного критерия Кульбака или обобщенного метода отношения вероятностей.

Максимальная оценка –20 баллов.

Примеры контрольных работ

Контрольная работа № 1. Решение типовых задач по разделу математические основы дисциплины «Теория эксперимента».

Вариант 1

Задана функция $f(x, y) = a \cdot \sin(x) \cdot \sin(y)$
на множестве $0 < x < \pi$, $0 < y < \pi$ и
 $f(x, y) = 0.0$ при $-\infty < x \leq 0.0$, $\pi \leq x < +\infty$
 $-\infty < y \leq 0.0$, $\pi \leq y < +\infty$

1. Построить в заданной области на основе $f(x, y)$ плотность вероятности $\rho(x, y)$ случайных величин X, Y .
2. Определить математические ожидания случайных величин X, Y .
3. Определить дисперсии случайных величин X, Y и построить дисперсионно-ковариационную матрицу случайного вектора $\mathbf{Z} = (X, Y)^T$.
4. Вычислить вероятность события $(X, Y) \in S$, где множество S состоит из элементов, удовлетворяющих следующим границам
 $\pi/3 < x < \pi/2$, $\pi/3 < y < \pi/2$.
5. Построить условную плотность вероятности $p(x | y = y_1)$,
где $y_1 = \pi/6$.
6. Преобразование плотности распределения вероятностей. Произвести замену переменных x, y на ξ, η в плотности вероятности
 $\rho(x, y)$ при условии, что

$$\begin{aligned} x &= \xi + \eta \\ y &= 2 \cdot \eta \end{aligned}$$

Контрольная работа №2 Решение типовых задач по оценке параметров однооткликовых моделей и расчету зависимости отклика от независимых параметров и дисперсии отклика по его траектории, а также оценка максимального числа, допускающих оценку констант по заданной совокупности наблюдений и установлению оптимальных условий проведения эксперимента с использованием критериев D-, A-, E- G- оптимальности плана эксперимента.

Вариант 1

Задана однооткликовая модель

$$\eta(\mathbf{z}, \boldsymbol{\theta}) = \boldsymbol{\varphi}^T(\mathbf{z}) \boldsymbol{\theta} \quad \boldsymbol{\varphi}(\mathbf{z}) = [x, y^2]^T$$

Номер опыта	Стартовый план эксперимента Условия проведения опытов		Результаты экспериментов	Дисперсия наблюдения Y
1	$x = 1.0$	$y = 1.0$	$Y = 2.9$	0.16
2	$x = 1.0$	$y = 2.0$	$Y = 6.2$	0.16
3	$x = 2.0$	$y = 1.0$	$Y = 1.0$	0.16

1. При предположении равноточности и независимости наблюдений Y в области экспериментирования $G(x, y) \in (1. \leq x \leq 2., 1. \leq y \leq 2.)$ определить методом наименьших квадратов оценки параметров модели $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ и дисперсионно-ковариационную матрицу оценок $\Sigma_{\hat{\boldsymbol{\theta}}}$. Вычислить по модели значение отклика $\hat{\eta}$ и дисперсию отклика $\sigma_{\hat{\eta}}^2$ в точке $x = 1.5, y = 1.5$ области экспериментирования.
2. Показать, что взвешенная сумма дисперсий оценки поверхности отклика $\sigma^2(\mathbf{z}, \varepsilon)$, вычисленная во всех точках плана ε , равна числу оцениваемых параметров модели.
3. Записать алгоритм построения D – оптимального плана эксперимента ε^* . На основе стартового плана эксперимента ε вычислить в области экспериментирования

G условия проведения четвертого опыта и дискретную вероятностную меру четырехточечного плана эксперимента ε_4 , приводящие к максимальному возрастанию детерминанта информационной матрицы плана ε_4 . Теорема эквивалентности оптимальных планов эксперимента.

Варианты задач:

1. Для заданной линейнопараметризованной модели, вектор параметров которой двумерен, записать алгоритм построения непрерывного А-оптимального плана эксперимента.
2. Для заданной линейнопараметризованной модели, вектор параметров которой двумерен, записать алгоритм построения непрерывного Е-оптимального плана эксперимента.
3. Для заданной линейнопараметризованной модели, вектор параметров которой двумерен, записать алгоритм построения непрерывного G-оптимального плана эксперимента.
4. Задана однооткликовая линейнопараметризованная модель. Проведена серия из 3-х экспериментов. Наблюдения неравноточны. Заданы дисперсии ошибок наблюдений. Определить методом наименьших квадратов оценки параметров модели, дисперсионно-ковариационную матрицу оценок параметров и дисперсию отклика модели.
5. Задана однооткликовая линейнопараметризованная модель. Проведена серия из 3-х экспериментов. Наблюдения неравноточны. Заданы дисперсии ошибок наблюдений. Определить методом максимального правдоподобия оценки параметров модели, дисперсионно-ковариационную матрицу оценок параметров и дисперсию отклика модели.
6. Задана однооткликовая нелинейнопараметризованная модель. Проведена серия из 3-х экспериментов. Наблюдения неравноточны. Заданы дисперсии ошибок наблюдений. Определить методом максимального правдоподобия оценки параметров модели, дисперсионно-ковариационную матрицу оценок параметров и дисперсию отклика модели.
7. Задана однооткликовая нелинейнопараметризованная модель. Проведена серия из 3-х экспериментов. Наблюдения неравноточны. Заданы дисперсии ошибок наблюдений. Определить методом наименьших квадратов оценки параметров модели, дисперсионно-ковариационную матрицу оценок параметров и дисперсию отклика модели.

Контрольная работа №3 Решение типовых задач оценки параметров двуоткликовых линейнопараметризованных моделей, построения дисперсионно-ковариационных матриц оценок параметров и расчета дисперсионно-ковариационных матриц прогноза по модели как функции условий проведения эксперимента при заданных результатах серии из 3-х экспериментов и дисперсионно-ковариационных матрицах ошибок наблюдений; построение стратегии проведения дискриминирующего эксперимента для заданных двух линейнопараметризованных моделей и процедуры проверки гипотез при условии, что для дискриминации моделей используется энтропийный критерий Кульбака или обобщенный метод отношения вероятностей.

Вариант 1

Задана двухоткликовая модель

$$\eta(\mathbf{z}, \theta) = F(\mathbf{z})^T \cdot \theta$$

$$F(\mathbf{z}) = \{ f(\mathbf{z})_{i,j} \}$$

$$\text{где } \mathbf{z} = (x, y)^T$$

$$f_{11}(\mathbf{z}) = x \quad f_{12}(\mathbf{z}) = x^2$$

$$f_{21}(\mathbf{z}) = y \quad f_{22}(\mathbf{z}) = y^2$$

Заданы стартовый план эксперимента ε , результаты эксперимента и дисперсионно-ковариационная матрица наблюдений

Номер опыта	Условия проведения опытов	Результаты опытов	Дисперсионно-ковариационная

			матрица наблюдений
1	$x = 1. \quad y = 1.$	$Y_1 = \begin{pmatrix} 6.0 \\ 6.0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 2.0 \end{pmatrix}$
2	$x = 2. \quad y = 2.$	$Y_2 = \begin{pmatrix} 9.8 \\ 17.8 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2.0 & 0.0 \\ 0.0 & 4.0 \end{pmatrix}$
3	$x = 1. \quad y = 2.$	$Y_3 = \begin{pmatrix} 12.0 \\ 23.8 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 2.0 & 0.0 \\ 0.0 & 8.0 \end{pmatrix}$

Задана область экспериментирования $G(x, y) \in (1. \leq x \leq 2., 1. \leq y \leq 2.)$.

1. Определить методом наименьших квадратов оценки параметров $\hat{\theta}$ двухоткликной модели и дисперсионно-ковариационную матрицу оценок параметров $\Sigma_{\hat{\theta}}$. Вычислить по модели значения вектора откликов $\hat{\eta}$ и дисперсионно-ковариационную матрицу вектора откликов $\Sigma_{\hat{\eta}}$ в точке $x = 1.5, y = 1.7$ области экспериментирования G .
2. Вычислить нормированную сумму следа произведения матрицы эффективности эксперимента на дисперсионно-ковариационную матрицу вектора откликов. Суммирование ведется по всем точкам спектра плана ϵ . Критерии проверки статистических гипотез.

Варианты задач:

1. Для заданной нелинейнопараметризованной модели, вектор параметров которой двумерен, записать алгоритм вычисления точечных байесовских оценок параметров и сформировать последовательную стратегию планирования эксперимента для уточнения байесовских оценок параметров. Плотность распределения вектора наблюдений известна, известны и ее параметры.
2. Даны две линейнопараметризованные однооткликные модели. Известны точечные оценки их параметров и дисперсии. Наблюдения предполагаются равноточными с заданной дисперсией. Построить стратегии проведения дискриминирующего эксперимента и процедуру проверки гипотез при условии, что для дискриминации моделей используется энтропийный критерий Кульбака.
3. Даны две линейнопараметризованные однооткликные модели. Известны точечные оценки их параметров и дисперсии. Наблюдения предполагаются равноточными с заданной дисперсией. Построить стратегии проведения дискриминирующего эксперимента и процедуру проверки гипотез при условии, что для дискриминации моделей используется обобщенный метод отношения вероятностей.

8.2. Отчеты по лабораторным работам для текущего контроля освоения дисциплины

Лабораторные работы не предусмотрены.

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – зачёт с оценкой)

Максимальное количество баллов за зачёт с оценкой – **40 баллов**. Билет содержит два теоретических вопроса, относящихся к разным разделам дисциплины. Максимальная оценка за первый теоретический вопрос – **10 баллов**, за второй теоретический вопрос – **30 баллов**.

8.3.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – зачёт с оценкой)

1. Скалярные и векторные случайные величины. Совместная функция распределения многомерных случайных величин, ее основные свойства (10 баллов).
2. Скалярные и векторные случайные величины. Плотности распределения одномерных и многомерных случайных величин, их свойства (10 баллов).
3. Расчет элемента вероятности по совместной функции распределения вероятности и совместной плотности вероятности векторной случайной величины (10 баллов).
4. Определение плотности распределения вероятностей по совместной функции распределения вероятностей векторной случайной величины и обратно определение функции распределения вероятностей по плотности распределения. Оценка вероятности события попадания векторной случайной величины в заданное замкнутое множество S (10 баллов).
5. Оценка смещенных начальных и смещенных центральных моментов по плотности вероятностей векторной случайной величины. Определение математического ожидания случайного вектора и его дисперсионно-ковариационной матрицы. (10 баллов)
6. Частные функции распределения двумерного и многомерного случайного вектора. (10 баллов)
7. Определение частной плотности распределения двумерного и многомерного случайного вектора. Определение начальных моментов подмножества случайных величин по частным плотностям распределения. (10 баллов)
8. Условия статистической независимости двумерных случайных величин. Определение их по совместной функции распределения вероятностей и плотности распределения вероятностей. (10 баллов)
9. Условное распределение двумерных и многомерных случайных величин, их свойства. (10 баллов)
10. Нормальная плотность распределения вероятностей двумерной случайной величины. Условия независимости двумерного случайного вектора. Ее определение по коэффициентам корреляции. (10 баллов)
11. Нормальная плотность распределения многомерной случайной величины. Условия независимости двух подвекторов нормального случайного вектора. (10 баллов)
12. Преобразование переменных в кратных интегралах, определяющих плотность распределения вероятностей. (10 баллов)
13. Распределение линейных комбинаций линейных случайных векторов. (10 баллов)
14. Теория оценки параметров в линейно-параметризованных моделях. Определение статистики и оценки параметров моделей. Свойство оценок и их геометрическая интерпретация. (30 баллов)
15. Общая теория критериев проверки гипотез. Простые и сложные гипотезы. Критерии проверки гипотез. Критические области критериев. Ошибки первого и второго рода. Функция мощности критерия. (30 баллов)
16. Выборочный метод. Случайный выбор, распределение выборки, выборочные оценки. (30 баллов)
17. Метод максимального правдоподобия. Принцип максимального правдоподобия. Функция правдоподобия, отношение правдоподобия. Вычисление оценок максимального правдоподобия и их дисперсионно-ковариационной матрицы. (30 баллов)
18. Метод наименьших квадратов. Однооткликовые линейно-параметризованные модели химических и биохимических процессов. Равноточные наблюдения. Оценка параметров моделей химических и биохимических процессов. Вычисление дисперсионно-ковариационной матрицы оценок, значений отклика и дисперсии отклика. (30 баллов)
19. Метод наименьших квадратов. Однооткликовые нелинейно-параметризованные модели химических и биохимических процессов. Равноточные наблюдения. Оценка параметров моделей. Вычисление дисперсионно-ковариационной матрицы оценок, значений отклика и дисперсии отклика. (30 баллов)

20. Метод наименьших квадратов. Однооткликовые линейно-параметризованные модели химических и биохимических процессов. Неравноточные наблюдения. Оценка параметров моделей. Вычисление дисперсионно-ковариационной матрицы оценок, значений отклика и дисперсии отклика. (30 баллов)
21. Метод наименьших квадратов. Многооткликовые линейно-параметризованные модели химических и биохимических процессов. Неравноточные наблюдения. Оценка параметров моделей. Вычисление дисперсионно-ковариационной матрицы оценок, значений вектора откликов и дисперсионно-ковариационная матрица откликов. (30 баллов)
22. Основные свойства м.н.к. оценок параметров линейно параметризованных моделей. Доказательство их свойств несмещенности и эффективности. (10 баллов)
23. Планирование прецизионного и дискриминирующего экспериментов. Цели и задачи планирования эксперимента. Дискретные и непрерывные планы. Спектр плана. Вероятностная мера плана. (10 баллов)
24. Планирование прецизионных экспериментов. Критерии D-, A-, E-, G-оптимальности плана. Их геометрическая интерпретация. (10 баллов)
25. Метод случайного баланса. Экспериментальное определение доминирующих эффектов факторов, среди общей совокупности конкурирующих существенно превышающие доминирующие и общее число поставленных опытов. Теория распознавания образов и методы теории регрессионного и конъюнктного анализа для оценки числа доминирующих факторов. (30 баллов)
26. Непрерывные планы эксперимента. Информационная матрица плана, ее свойства. (10 баллов)
27. Непрерывные планы эксперимента. Определение величины взвешенной суммы дисперсий отклика модели и минимального значения максимальной взвешенной дисперсии. (30 баллов)
28. Планирование динамического эксперимента. Синтез оптимальных индикаторных сигналов, процедуры отдельной и совместной подачи различных индикаторов в исследуемый объект. (30 баллов)
29. Неявные конечно-разностные и коллокационные методы решения уравнений моделей химических и биохимических процессов. (30 баллов)
30. Теорема эквивалентности D- и G-оптимальных планов эксперимента. Ее роль при построении оптимальных планов оценки параметров модели. (10 баллов)
31. Планирование экспериментов для оценки параметров многооткликовых моделей химических и биохимических процессов. Расчет для заданного плана эксперимента взвешенного следа, произведение матрицы эффективности и дисперсионно ковариационной матрицы оценок откликов. (30 баллов)
32. Однооткликовая линейно параметризованная модель. Метод построения D-оптимального плана эксперимента. (30 баллов)
33. Однооткликовые нелинейно параметризованные модели химических и биохимических процессов. Оценки их параметров. Наилучшая квазилинейная оценка. (30 баллов)
34. Принципы дискриминации однооткликовых моделей химических и биохимических процессов. Критерий дискриминации моделей. Информационные меры предпочтения между моделями. (10 баллов)
35. Дискриминация моделей. Планирование дискриминирующего эксперимента. Критерий Кульбака. (30 баллов)
36. Принципы формирования апостериорной вероятности принятия конкурирующей модели. Теорема Байеса. Формула Байеса. (30 баллов)
37. Анализ и планирование непрерывного эксперимента для дискриминации моделей с одновременным уточнением их параметров. Критерий оптимальности плана. (30 баллов)

38. Энтропийный метод дискриминации моделей. Построение дискриминантной матрицы Кульбака. (30 баллов)
39. Энтропийный метод дискриминации моделей. Планирование дискриминирующего эксперимента. Байесовский метод выбора наилучшей модели. (30 баллов)
40. Компромиссные критерии дискриминации моделей и уточнение их параметров. Планирование эксперимента для максимизации компромиссного критерия. (30 баллов)

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

8.4. Структура и примеры билетов для зачета с оценкой (3 семестр)

Зачет с оценкой по дисциплине «Теория эксперимента» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы и задачи по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для зачета с оценкой состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам. Билет включает 2 теоретических задания различного уровня сложности (10 и 30 баллов), оцениваемых в зависимости от уровня сложности. Максимальная оценка – 40 баллов.

Пример билета для зачета с оценкой.

«Утверждаю» зав. кафедрой Глебов М.Б. _____ (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра кибернетики химико-технологических процессов
	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии Магистерская программа – «Кибернетика для инновационных технологий»
ТЕОРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	
Билет № 1	
1. Теорема эквивалентности D- и G-оптимальных планов эксперимента. Ее роль при построении оптимальных планов оценки параметров модели. (10 баллов)	
2. Анализ и планирование непрерывного эксперимента для дискриминации моделей с одновременным уточнением их параметров. Критерий оптимальности плана. (30 баллов)	

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература.

1. Писаренко В.Н., Писаренко Е.В. Процессы адсорбции веществ на гетерогенных катализаторах: теория и методы моделирования. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. –72 с.
2. Писаренко Е.В., Писаренко В.Н. Теория планирования эксперимента. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. –72 с.
3. Писаренко Е.В. Планирование и организация эксперимента в нанотехнологиях. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2024. –168 с.

Б) Дополнительная литература.

4. Писаренко В.Н., Полянский М.А., Кафаров В.В. Планирование прецизионных и дискриминирующих экспериментов в химической кинетике. Методы планирования. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1996. – 60 с.
5. Писаренко В.Н., Полянский М.А., Жукова Т.Б., Кафаров В.В. Планирование прецизионных и дискриминирующих экспериментов в химической кинетике. Основы теории оценивания. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1987. – 60 с.
6. Писаренко В.Н., Погорелов А.Г. Планирование кинетических исследований. М: Наука, 1970. – 175 с.
7. Федоров В. Теория оптимального эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 312 с.
8. И. Бард. Нелинейное оценивание параметров. М: Статистика, 1979. – 349 с.
9. Н. Дрейнер, Г. Смит. Прикладной регрессионный анализ. М: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

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

Научно-технические журналы:

- «Химическая промышленность сегодня», ISSN – 0023-110X;
- «Химическая технология», ISSN – 1684-5811;
- «Теоретические основы химической технологии», ISSN – 0040-3571;
- «Computers and Chemical Engineering» ISSN – 0098-1354;
- «Программные продукты и системы», ISSN (печатной версии) – 0236-235X, ISSN (онлайновой версии) – 2311-2735;

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

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

- конспекты лекций в формате *.pdf – 10;
- компьютерные презентации интерактивных лекций – 10, (общее число слайдов – 240);
- банк вариантов контрольной работы № 1 – 30;
- банк вариантов контрольной работы № 2 – 30;
- банк вариантов контрольной работы № 3 – 30;
- демонстрационные расчётные модули по комплексным заданиям;
- предустановленное лицензионное программное обеспечение в компьютерном классе (Windows 7, Microsoft Office 2010).

Имеются дополнительные средства для изучения дисциплины: электронные учебные пособия, библиотека программ для решения уравнений моделей, задания к практическим занятиям (60 задач), задания к самостоятельным работам (60 задач).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн. При этом данный список дополняется следующим разделом:

- тематическая группа в социальной сети Вконтакте, доступ к групповым чатам (Discord, WhatsApp, Viber), к вебинарам (Discord, Zoom, webinar.ru), групповой электронной почте, онлайн-конференции в Skype.

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 1 563 142 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

В соответствии с учебным планом занятия проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий вместимостью не менее 30 человек, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Компьютерный класс, насчитывающий не менее 1- посадочных мест, с предустановленным лицензионным программным обеспечением (Windows, Microsoft Excel) и выходом в Интернет для проведения практических и лабораторных занятий.

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

11.2. Учебно-наглядные пособия

Учебные пособия по дисциплине.

Электронный раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Демонстрационные расчётные модули по комплексным заданиям.

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

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5. При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях на кафедре имеются проектор и настенный экран, а

также звуковые колонки. Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: инструкции по технике безопасности в компьютерном классе; методические рекомендации к практическим занятиям; учебные пособия; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде; раздаточный материал к разделам дисциплины; справочные материалы.

На кафедре КХТП используются электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; электронные конспекты лекций; учебно-методические разработки в электронном виде; демонстрационные программы; специализированное программное обеспечение; справочные материалы в электронном виде.

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:

№ п.п.	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Срок окончания действия лицензии	Примечание	Возможность дистанционного использования
1.	WINHOME 10 Russian OLV NL Each AcademicEdition	Контракт № 28-35ЭА/2020 от 26.05.2020	бессрочно	Лицензия на операционную систему Microsoft Windows 10. ПО, не принимающее прямого участия в образовательных процессах.	Нет
2.	Microsoft Office Professional Plus 2019 В составе: • Word • Excel • Power Point • Outlook • OneNote • Access • Publisher • InfoPath	Контракт №175-262ЭА/2019 от 30.12.2019	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)	Лицензия на ПО, принимающее участие в образовательных процессах.	Нет

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММ

Формы и методы контроля и оценки результатов освоения разделов

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Лабораторные исследования хи-	Знает: Основы теории планирования научного эксперимента, построения моделей химических и	Оценка за контрольную

мических и биохимических процессов, их цели и задачи. Лабораторные химические реакторы.	биохимических процессов и оценки их параметров, проверки научных и научно-технических гипотез. Умеет: Осуществлять построение моделей экспериментального оборудования. Владеет: Методами планирования непрерывного и статического эксперимента для установления оптимальной стратегии проведения экспериментальных исследований.	работу №1 по разделам 1-2 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 2. Основы теории оценивания. Оценка параметров линейно- и нелинейно параметризованных одно- и многооткликовых моделей химических и биохимических процессов.	Знает: Основы теории оценивания параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей химических и биохимических процессов Умеет: Оценивать параметры линейно- и нелинейно параметризованных одно- и многооткликовых моделей методами наименьших квадратов и максимального правдоподобия. Владеет: Методами оценки параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей химических и биохимических процессов.	Оценка за контрольную работу 1 по разделам 1-2 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 3. Планы эксперимента. Дискретные и непрерывные планы. Критерии оптимальности планов. Численные методы построения D-оптимальных планов и минимаксных планов при исследовании химических и биохимических процессов.	Знает: Планы эксперимента. Дискретные и непрерывные планы. Критерии оптимальности планов D-, A-, E-, G-. Метод случайного баланса. Умеет: Выбирать оптимальную стратегию проведения экспериментальных исследований, рассчитывать значения элементов информационной матрицы и величин критериев оптимальности планов.. Владеет: Методами планирования непрерывного и статического эксперимента для установления оптимальной стратегии проведения экспериментальных исследований.	Оценка за контрольную работу 2 по разделам 3-4 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 4. Теорема эквивалентности оптимальных планов.	Знает: Сущность теоремы эквивалентности. Умеет: Использовать теорему эквивалентности при создании процедур построения планов эксперимента. Владеет: Методами оценки параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей по экспериментальным данным.	Оценка за контрольную работу 2 по разделам 3-4 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 5. Байесовский подход к оценке параметров линейно- и нелинейно параметризованных моделей химических и биохимических процессов.	Знает: Байесовский подход к прецизионной оценке параметров моделей химических и биохимических процессов. Умеет: Проводить оценку информативности эксперимента. Владеет: Методами оценки параметров моделей химических и биохимических процессов при использовании априорной информации о физико-химических свойствах объекта исследований.	Оценка за контрольную работу 3 по разделам 5-10 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 6. Непрерывные оптимальные планы эксперимента для оценки параметров ки-	Знает: Непрерывные оптимальные планы эксперимента для оценки параметров кинетических моделей и моделей кинетики адсорбции. Методы синтеза оптимальных тестирующих индикаторных	Оценка за контрольную работу 3 по разделам 5-10

нетических моделей и моделей кинетики адсорбции. Синтез оптимальных тестирующих индикаторных сигналов.	сигналов. Умеет: Выбирать оптимальную стратегию проведения экспериментальных исследований, рассчитывать значения элементов информационной матрицы и величин критериев оптимальности планов, осуществлять построение моделей экспериментального оборудования, синтезировать оптимальные тестирующие индикаторные сигналы. Владеет: Методами синтеза оптимальных тестирующих индикаторных сигналов.	(наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 7. Планирование динамического эксперимента для прецизионной оценки параметров моделей гидродинамической структуры потоков, зерна катализатора, каталитического реактора.	Знает: Основы теории планирования научного эксперимента, построения моделей химических и биохимических процессов и оценки их параметров, проверки научных и научно-технических гипотез, методы планирования динамического эксперимента для прецизионной оценки параметров моделей гидродинамической структуры потоков, зерна катализатора, каталитического реактора. Умеет: Планировать проведение динамического эксперимента, использовать неявные конечно-разностные и коллокационные методы решения уравнений моделей химических и биохимических процессов. Владеет: Практическими навыками применения вычислительной техники для решения задач, изучаемых в настоящей дисциплине.	Оценка за контрольную работу 3 по разделам 5-10 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 8. Проверка статистических гипотез. Простые и сложные гипотезы. Критерии проверки гипотез. Функция мощности критерия, несмещенные и равномерно наиболее мощные критерии.	Знает: Методы проверки статистических гипотез. Критерии проверки гипотез. Функции мощности критерия, несмещенные и равномерно наиболее мощные критерии. Основы теории оценивания параметров линейно- и нелинейнопараметризованных моделей химических и биохимических процессов. Умеет: Проводить оценку надежности принятия решений о выборе наилучшей модели. Использовать методы Бартлетта и Хагао – проверки адекватности многоотклитковых моделей химических и биохимических процессов экспериментальным данным Владеет: Методами проверки адекватности разработанных моделей химических и биохимических процессов экспериментальным данным. Методами проверки статистических гипотез.	Оценка за контрольную работу 3 по разделам 5-10 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.
Раздел 9. Дискриминация математических моделей. Методы дискриминации – энтропийный, отношения вероятностей.	Знает: Методы дискриминации математических моделей – энтропийный, отношения вероятностей. Умеет: Выбирать оптимальную стратегию проведения экспериментальных исследований. Осуществлять дискриминацию моделей химических и биохимических процессов с использованием критериев дискриминации, основанных на качественном и количественном анализе динамических и	Оценка за контрольную работу 3 по разделам 5-10 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.

	статических свойств моделей (χ^2-критерий, энтропийный критерий Кульбака, обобщенный критерий отношения вероятностей) Владеет: Методами дискриминации математических моделей химических и биохимических процессов	
Раздел 10. Планирование дискриминирующих экспериментов. Обобщенные критерии оптимальности.	Знает: Обобщенные критерии оптимальности при планировании дискриминирующих экспериментов. Умеет: Проводить оценку надежности принятия решений о выборе наилучшей модели, выбирать оптимальную стратегию проведения экспериментальных исследований. Владеет: Методами дискриминации математических моделей химических и биохимических процессов, практическими навыками применения вычислительной техники для решения задач, изучаемых в настоящей дисциплине.	Оценка за контрольную работу 3 по разделам 5-10 (наивысший балл – 20). Оценка на зачете с оценкой.

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 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
«Теория эксперимента»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки
 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»

магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»

Форма обучения: очная

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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы
управления химическими предприятиями»**

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена:

д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов
А.Ф. Егоровым,

к.т.н., доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов
П.Г. Михайловой

д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов
Т.В. Савицкой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол № 8.

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 кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина *«Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями»* относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной дисциплиной.

Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области: «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», «Математическое моделирование и методы синтеза гибких химических производств», «Принципы математического моделирования ресурсосберегающих химико-технологических систем», «Интегрированные системы управления химическими производствами».

Цель дисциплины – научить магистрантов теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования современных математических методов, моделей, алгоритмов, информационных и программных средств для решения широкого круга задач энергосбережения при создании компьютерно-интегрированных систем управления.

Задачи дисциплины:

- обучение магистрантов теоретическим методам создания энерго- и ресурсосберегающих систем управления химическими производствами;
- обучение магистрантов методам анализа сложных систем и бизнес-процессов для создания энерго- и ресурсосберегающих систем управления;
- обучение методологическим основам постановки и решения задач оптимального функционирования компьютерно-интегрированных систем;
- обучение теоретическим знаниям, практическим умениям и навыкам создания систем управления качеством продукции и окружающей среды по критериям энерго- и ресурсосбережения.

Дисциплина *«Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями»* преподается в 3-м 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**: УК-1.1; УК-1.2; УК-1.3; ПК-2.2; ПК-2.3; ПК-3.1; ПК-3.2; ПК-3.3; ПК-4.1; ПК-4.2; ПК-4.3; ПК-5.1; ПК-5.2

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, вырабатывать 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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-	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-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ ПК-2.3 Владеет навыками проведения информационного поиска и обработки научно-технической информации	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.

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
	конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).			С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
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 энергоресурсоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности	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 – 6)
			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	

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
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-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	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 – 6)
Исследование и разработка средств и систем автоматизации и управления различного назначения, в том числе жизненным циклом	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной	ПК-5 Способен решать базовые задачи управления технологическими объектами и системами в области своей	ПК-5.1 Знает основные законы регулирования, современные системы управления энерго- и ресурсосберегающими процессами химической технологии, нефтехимии и биотехнологии и их	Профессиональный стандарт 40.057 "Специалист по автоматизированным системам управления машиностроительным предприятием" утвержденный

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
продукции и ее качеством применительно к конкретным условиям производства на основе отечественных и международных нормативных документов Разработка, исследование, внедрение и сопровождение в организациях всех видов деятельности систем управления качеством, направленных на постоянное улучшение качества и повышение конкурентоспособности организации продукции и услуг в области профессиональной деятельности	деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	профессиональной деятельности и управления качеством продукции на основе информационных компьютерных технологий	компьютерную реализацию ПК-5.2 Умеет разрабатывать базовые системы управления технологическими процессами и производством, строить схему управления, сравнивать и оценивать эффективность системы управления технологическими процессами, использовать современные программно-аппаратные средства автоматизированного управления, в том числе на основе искусственного интеллекта.	приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28.09.2020 N 658н Обобщенная трудовая функция D. Проектирование АСУП D/01.7 Разработка структуры АСУП (уровень квалификации – 7) D/04.7 Разработка интегрированной АСУП (уровень квалификации 7) Профессиональный стандарт 40.062 "Специалист по качеству", утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 22.40.2021 N 276н Обобщенная трудовая функция C. Управление качеством продукции (работ, услуг) в организации C/02.7. Обеспечение функционирования системы управления качеством

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
				(менеджмента качества)(уровень квалификации 7) С/03.7. Контроль выпуска продукции (работ, услуг), соответствующих требованиям технических регламентов, стандартов (технических условий), утвержденным образцам (эталонам) и технической документации, условиям поставок и договоров (уровень квалификации – 7)

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- функциональные возможности автоматизированных систем управления предприятиями, производственными и технологическими процессами;
- функциональные возможности систем управления качеством готовой продукции;
- методы структурного анализа и проектирования сложных систем;
- формулировки задач оптимального функционирования энерго- и ресурсосберегающих крупнотоннажных и малотоннажных непрерывных и периодических химических производств;
- формулировки и методы решения задач технико-экономического и оптимального календарного планирования химических производств по критериям энерго- и ресурсосбережения;
- модели и численные методы решения задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств;
- методы логистического управления химическими производствами по критериям энерго- и ресурсосбережения.

Уметь:

- осуществлять структурный анализ сложных химических производств;
- формализовать математические постановки задач технико-экономического и календарного планирования, а также задач оперативного управления химическими производствами по критериям энерго- и ресурсосбережения;
- формализовать задачи составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными и параллельными аппаратами, а также для производств с различными маршрутами выпуска продукции;
- решать задачи составления расписаний работы периодических многоассортиментных химических производств с использованием численных методов.

Владеть:

- методами решения задач планирования и оперативного управления химическими производствами по критериям энерго- и ресурсосбережения;
- методами составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств;
- численными методами решения задач теории расписаний для многопродуктовых периодических химических производств.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад . ч.	Астр .ч.
Общая трудоемкость дисциплины	6	216	162
Контактная работа – аудиторные занятия:	2.8	102	76.5
Лекции	0.933	17	12.75
Практические занятия (ПЗ)	0.933	51	38.25
Лабораторные работы (ЛР)	0.933	34	25.5
Самостоятельная работа	2.2	78	58.5
Контактная самостоятельная работа	2.2	-	-
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		78	58.5
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0.4	0.3
Подготовка к экзамену.		35.6	26.7
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	Введение	2	0,5		-	1,5
1.	Раздел 1. Структура и функциональные возможности интегрированных автоматизированных систем управления химическими предприятиями (ИАСУ ХП).	11,5	2	-	-	9,5
1.1	Автоматизированные системы управления предприятиями – ERP-системы (Enterprise Resource Planning). Функциональные возможности и основные подсистемы ERP-систем. Современные отечественные и зарубежные информационные ERP-системы: «Галактика», R/3 фирмы SAP.	2,4	0,4			2
1.2	Системы управления производством (производственными процессами) – MES–системы (Manufacturing Execution Systems). Функциональные возможности и основные подсистемы MES- систем.	2,4	0,4			2
1.3	Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы диспетчерского управления и сбора	2,4	0,4			2

N № п/п	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	данных – SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition). Функциональные возможности и решаемые задачи SCADA-системами.					
1.4	Информационные системы управления складами – WMS-системы (Warehouse Management Systems): функции, модели и программные продукты.	2,4	0,4			2
1.5	Информационные системы технического обслуживания и ремонта EAM-системы (Enterprise Asset Management): функции, модели и программные продукты.	1,9	0,4			1,5
2.	Раздел 2. Системы управления качеством продукции, окружающей среды и безопасностью химических производств.	9	1,5	-	-	7,5
2.1	Интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ) качеством готовой продукции. Показатели и методы измерения показателей качества. Методы и информационные системы управления качеством продукции. Структура и функциональные возможности ИАСУ качеством продукции.	2,4	0,4			2
2.2	Системы мониторинга и	2,4	0,4			2

N № п/п	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	управления качеством окружающей среды. Автоматизированные системы контроля и управления качеством атмосферного воздуха: структура и функциональные возможности.					
2.3	Интегрированные автоматизированные системы управления безопасностью химических производств: структура, функциональные возможности и решаемые задачи.	2,4	0,4			2
2.4	Интегрированные системы управления на основе требований международных стандартов ISO – 9000, ISO – 14000 и OHSAS – 18000.	1,8	0,3			1,5
3.	Раздел 3. Методологические основы, методы и инструментальные средства анализа и проектирования сложных систем и бизнес-процессов организаций.	11	2	-	-	9
3.1	Метод структурного анализа и проектирования сложных систем. SADT-методология (Structured Analysis and Design Technique). SADT-модели. Синтаксис и применение SADT-диаграмм.	2,5	0,5			2
3.2	Методы анализа, инжиниринга и реинжиниринга бизнес-процессов. Бизнес-процессы: понятия и определения. Основные этапы	3,5	0,5			3

№ п/п	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	реинжиниринга бизнес-процессов.					
3.3	Методология ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) – Архитектура интегрированных информационных систем и ее использование для структурного описания и анализа бизнес-процессов при разработке информационной системы организации.	2,5	0,5			2
3.4	Инструментальные средства для проведения реинжиниринга бизнес-процессов.	2,5	0,5			2
4.	Раздел 4. Методологические основы и общая формулировка задач оптимального функционирования химических производств.	7	1	-	-	6
4.1	Крупнотоннажные и малотоннажные многоассортиментные производства как объекты управления и кибернетической организации.	2,3	0,3			2
4.2	Общая формулировка задач оптимального функционирования крупнотоннажных и малотоннажных непрерывных и периодических химических производств.	2,4	0,4			2
4.3	Особенности функционирования химических	2,3	0,3			2

N № п/п	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	производств в условиях неопределенности.					
5.	Раздел 5. Модели и методы решения задач технико-экономического планирования, календарного планирования и оперативного управления химическими производствами.	9,5	2	-	-	7,5
5.1	Классификация задач планирования.	1,9	0,4			1,5
5.2	Формулировка и решение задач технико-экономического планирования (ТЭП) химических производств.	1,9	0,4			1,5
5.3	Формулировка и решение задач оптимального календарного планирования химических производств.	1,9	0,4			1,5
5.4	Формулировка и решение задач оперативного календарного планирования и управления химическими производствами.	1,9	0,4			1,5
5.5	Модели и методы прогнозирования. Модели управления проектами. Иконографические (сетевые) модели. Вершинные и стрелочные графы.	1,9	0,4			1,5
6.	Раздел 6. Модели составления расписаний работы многопродуктовых периодических	60	4	25	17	14

N № п/п	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	химических производств.					
6.1	Теория расписаний – средство решения задач календарного планирования и оперативного управления многопродуктовыми периодическими химическими производствами. Основные понятия теории расписаний и задачи составления оптимальных расписаний.	31	2	13	9	7
6.2	Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств. Постановка общей задачи. Частные задачи и методы их решения. Определение оптимальной стратегии переналадки технологического оборудования: постановка задачи (задача коммивояжера) и целочисленная форма представления.	29	2	12	8	7
7.	Раздел 7. Численные методы решения задач теории расписаний.	59	2	26	17	14
7.1	Классификация методов решения задач теории расписания. Способы математической формализации задач теории расписаний.	31	1	14	9	7
7.2	Постановка задач	28	1	12	8	7

N № п/п	Наименование раздела	Количество часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	комбинаторной оптимизации с перестановочными расписаниями и методы их решения:					
8.	Раздел 8. Методы и информационное обеспечение логистического управления химическими производствами. Системный подход в реализации методов логистического управления.	11	2	-	-	9
8.1	Системный подход в реализации методов логистического управления.	2,4	0,4			2
8.2	Методы логистического управления производственными процессами.	1,9	0,4			1,5
8.3	Методы логистического управления закупками и поставками.	1,9	0,4			1,5
8.4	Методы логистического управления запасами и складированием.	2,4	0,4			2
8.5	Информационное обеспечение логистического управления.	2,4	0,4			2
	Всего	180	17	51	34	78
	Экзамен	36				
	ИТОГО	216				

4.2. Содержание разделов дисциплины

Введение. Цели и задачи курса. Краткий исторический очерк развития отечественных и зарубежных компьютерно-интегрированных химических производств.

Раздел 1. Структура и функциональные возможности интегрированных автоматизированных систем управления химическими предприятиями (ИАСУ ХП).

Иерархическая структура химических предприятий. Непрерывные, дискретные (периодического действия) и дискретно-непрерывные химические производства. Многоассортиментные гибкие химические производства.

Структура, функциональные возможности и принципы создания ИАСУ ХП

1.1 Автоматизированные системы управления предприятиями – ERP-системы (Enterprise Resource Planning). Функциональные возможности и основные подсистемы ERP-систем. Современные отечественные и зарубежные информационные ERP-системы: «Галактика», R/3 фирмы SAP.

1.2 Системы управления производством (производственными процессами) – MES–системы (Manufacturing Execution Systems). Функциональные возможности и основные подсистемы MES- систем.

1.3 Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы диспетчерского управления и сбора данных – SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition). Функциональные возможности и решаемые задачи SCADA-системами.

1.4 Информационные системы управления складами – WMS-системы (Warehouse Management Systems): функции, модели и программные продукты.

1.5 Информационные системы технического обслуживания и ремонта EAM-системы (Enterprise Asset Management): функции, модели и программные продукты.

Раздел 2. Системы управления качеством продукции, окружающей среды и безопасностью химических производств

2.1 Интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ) качеством готовой продукции. Показатели и методы измерения показателей качества. Методы и информационные системы управления качеством продукции. Структура и функциональные возможности ИАСУ качеством продукции.

2.2 Системы мониторинга и управления качеством окружающей среды. Автоматизированные системы контроля и управления качеством атмосферного воздуха: структура и функциональные возможности.

2.3 Интегрированные автоматизированные системы управления безопасностью химических производств: структура, функциональные возможности и решаемые задачи.

2.4 Интегрированные системы управления на основе требований международных стандартов ISO – 9000, ISO – 14000 и OHSAS – 18000.

Раздел 3. Методологические основы, методы и инструментальные средства анализа и проектирования сложных систем и бизнес-процессов организаций.

3.1 Метод структурного анализа и проектирования сложных систем. SADT-методология (Structured Analysis and Design Technique). SADT-модели. Синтаксис и применение SADT-диаграмм.

3.2 Методы анализа, инжиниринга и реинжиниринга бизнес-процессов. Бизнес-процессы: понятия и определения. Основные этапы реинжиниринга бизнес-процессов.

3.3 Методология ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) – Архитектура интегрированных информационных систем и ее использование для структурного описания и анализа бизнес-процессов при разработке информационной системы организации.

3.4 Инструментальные средства для проведения реинжиниринга бизнес-процессов.

Раздел 4. Методологические основы и общая формулировка задач оптимального функционирования химических производств

4.1 Крупнотоннажные и малотоннажные многоассортиментные производства как объекты управления и кибернетической организации. Основные направления концепции кибернетической организации. Классификации технологических структур и производственных ситуаций. Классификация возмущающих и управляющих воздействий, целей и критериев управления.

4.2 Общая формулировка задач оптимального функционирования крупнотоннажных и малотоннажных непрерывных и периодических химических производств.

Иерархия объектов, целей и задач оптимального функционирования.

4.3 Особенности функционирования химических производств в условиях неопределенности.

Подходы к организации работы предприятий в условиях изменяющихся целей их функционирования с учетом конъюнктуры рынка: изменения в поставках сырья, ассортимента и спроса на готовую продукцию.

Раздел 5. Модели и методы решения задач технико-экономического планирования, календарного планирования и оперативного управления химическими производствами.

5.1 Классификация задач планирования. Основные терминологические понятия: ресурсы, эффективный фонд рабочего времени, горизонт планирования, директивное время выпуска и т.д. Основные уровни и задачи планирования работы химических производств: долгосрочный (прогнозирование и технико-экономическое планирование), среднесрочный (оптимальное календарное планирование) и краткосрочный (оперативное календарное планирование и управление).

Планирование в условиях неопределенности. Природа неопределенности: стохастическая неопределенность (вызванная случайным характером изменения параметров) и нестохастическая неопределенность (вызванная недостаточностью знаний об объекте исследования). Неопределенность исходной информации (изменение спроса на готовую продукцию, изменение вида и состава сырья, изменение длительностей элементарных технологических операций и стадий и т.д.). Неопределенность целей и критериев функционирования (переменность ассортимента и объема выпуска продукции, изменение директивных сроков выпуска и т.д.).

5.2 Формулировка и решение задач технико-экономического планирования (ТЭП) химических производств. Экономико-математические модели. Расчет оптимальной производственной программы – задача линейного программирования (ЗЛП). Методы решения ЗЛП при одном и нескольких критериях оптимизации.

5.3 Формулировка и решение задач оптимального календарного планирования химических производств. Задача оптимальной производственной программы на весь период (горизонт) планирования и на каждый период времени. Задача календарного планирования с учетом неопределенности в поставках сырья и спроса на продукцию. Численные алгоритмы решения задач определения оптимальной производственной программы для многопродуктовых периодических химических производств. Планирование работы многоассортиментных производств в системе производство-склад – потребитель в условиях детерминированного и стохастического изменения спроса на производимые продукты.

5.4 Формулировка и решение задач оперативного календарного планирования и управления химическими производствами. Расчет, контроль и коррекция плана на основе текущей информации. Учет штрафных санкций на производителя при невыполнении заказов по ассортименту и директивному времени выпуска. Метод двухэтапной оптимизации. Метод двухинтервальной оптимизации.

5.5 Модели и методы прогнозирования. Модели управления проектами.

Иконографические (сетевые) модели. Вершинные и стрелочные графы.

Раздел 6. Модели составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств.

6.1 Теория расписаний – средство решения задач календарного планирования и оперативного управления многопродуктовыми периодическими химическими производствами. Основные понятия теории расписаний и задачи составления оптимальных расписаний.

6.2 Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств. Постановка общей задачи. Частные задачи и методы их решения. Определение оптимальной стратегии переналадки технологического оборудования: постановка задачи (задача коммивояжера) и целочисленная форма представления.

Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами:

- модель с учетом различия моментов поступления исходного сырья;
- модель с учетом затрат на переналадку аппаратов с выпуска одного продукта на другой;
- модели с учетом серийности выпуска продуктов.

Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с параллельными аппаратами:

- модель с идентичными аппаратами;
- модель с неидентичными аппаратами с учетом затрат на переналадку и серийность выпуска продуктов.

Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продуктов.

Раздел 7. Численные методы решения задач теории расписаний.

7.1 Классификация методов решения задач теории расписания. Способы математической формализации задач теории расписаний.

7.2 Постановка задач комбинаторной оптимизации с перестановочными расписаниями и методы их решения:

- метод ветвей и границ;
- метод локального поиска;
- статический метод локального поиска;
- метод поиска в локальной окрестности;
- статический метод глобального поиска;
- эвристические методы.

Раздел 8. Методы и информационное обеспечение логистического управления химическими производствами.

8.1 Системный подход в реализации методов логистического управления.

8.2 Методы логистического управления производственными процессами.

8.3 Методы логистического управления закупками и поставками.

8.4 Методы логистического управления запасами и складированием.

8.5 Информационное обеспечение логистического управления.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
	Знать:								
1	функциональные возможности автоматизированных систем управления предприятиями, производственными и технологическими процессами	+	+	+	+	+	+	+	+
2	функциональные возможности систем управления качеством готовой продукции	+	+		+	+			
3	методы структурного анализа и проектирования сложных систем			+	+	+			
4	формулировки задач оптимального функционирования энерго- и ресурсосберегающих крупнотоннажных и малотоннажных непрерывных и периодических химических производств	+	+		+	+	+	+	+
5	формулировки и методы решения задач технико-экономического и оптимального календарного планирования химических производств по критериям энерго- и ресурсосбережения	+			+	+			+
6	модели и численные методы решения задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств	+			+	+	+	+	
7	методы логистического управления химическими производствами по критериям энерго- и ресурсосбережения	+	+	+					+
	Уметь:								
7	осуществлять структурный анализ сложных химических производств	+		+	+				
8	формализовать математические постановки задач технико-экономического и календарного планирования, а также задач оперативного управления химическими производствами по критериям энерго- и ресурсосбережения	+			+	+			
9	формализовать задачи составления расписаний работы	+			+	+	+		+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
	многопродуктовых периодических химических производств с последовательными и параллельными аппаратами, а также для производств с различными маршрутами выпуска продукции								
10	решать задачи составления расписаний работы периодических многоассортиментных химических производств с использованием численных методов.	+			+	+	+	+	+
	Владеть:								
15	методами решения задач планирования и оперативного управления химическими производствами по критериям энерго- и ресурсосбережения	+			+	+	+		+
16	методами составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств	+			+	+	+		+
17	численными методами решения задач теории расписаний для многопродуктовых периодических химических производств	+			+	+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>универсальные и профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u>									
	Код и наименование УК (перечень из п.2)	Код и наименование индикатора достижения УК (перечень из п.2)							
18	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.	+	+	+	+	+	+	+
		УК-1.2 – Умеет определять в рамках выбранного алгоритма вопросы или задачи,	+	+	+	+	+	+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
		подлежащие дальнейшей разработке.								
		УК-1.3 – Владеет способами планирования работы для решения поставленных задач	+	+	+	+	+	+	+	+
	Код и наименование ПК (перечень из п.2)	Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)								
19	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-2.2 Умеет применять информационно- коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	+	+	+	+	+	+	+	+
		ПК-2.3 Владеет навыками проведения информационного поиска и обработки научно- технической информации	+	+	+	+	+	+	+	+
20	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.1 Знает методы и средства определения показателей энерго-ресурсоэффективности и рационального использования ресурсов в своей профессиональной деятельности		+		+		+	+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
		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		+		+		+	+	+
21	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий					+	+	+	+
		ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и					+	+	+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8
		систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств								
22	ПК-5 Способен решать базовые задачи управления технологическими объектами и системами в области своей профессиональной деятельности и управления качеством продукции на основе информационных компьютерных технологий	ПК-5.1 Знает основные законы регулирования, современные системы управления энерго- и ресурсосберегающими процессами химической технологии, нефтехимии и биотехнологии и их компьютерную реализацию	+	+						
		ПК-5.2 Умеет разрабатывать базовые системы управления технологическими процессами и производством, строить схему управления, сравнивать и оценивать эффективность системы управления технологическими процессами, использовать современные программно-аппаратные средства автоматизированного управления, в том числе на основе искусственного интеллекта.	+	+						

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1.	6.1, 6.2	Определение оптимальной стратегии переналадки технологического оборудования	4
2.	6.1, 6.2	Составление расписаний работы многопродуктового технологического аппарата	4
3.	6.1, 6.2	Разработка модели и решение задачи составления расписания работы многоассортиментных ХТС с последовательными аппаратами с учетом затрат на переналадку	4
4.	6.1, 6.2	Составление расписаний работы серийных многопродуктовых производств с последовательным расположением аппаратов	4
5.	6.1, 6.2	Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с параллельными аппаратами	4
6.	6.1, 6.2	Модели с неидентичными аппаратами с учетом затрат на переналадку и серийность выпуска продуктов	3
7.	6.1, 6.2	Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продуктов	2
8.	7.1, 7.2	Численные методы решения задач теории расписаний	26

6.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями», а также дает знания о решении задач технико-экономического и оптимального календарного планирования многоассортиментных химических производств.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 60 баллов (максимально по 30 баллов за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1.	6.1, 6.2, 7.1, 7.2	Разработка моделей, алгоритмов составления расписаний и моделирование работы многопродуктовых периодических химических производств (МПХП) с последовательным расположением аппаратов	17
2.	6.1, 6.2, 7.1, 7.2	Разработка моделей, алгоритмов составления расписаний и моделирование работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продукции	17
ИТОГО			34

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студента в объёме 150 часов (подготовка к экзамену – 36 часов). Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины;

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;

- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;
- подготовку к сдаче **экзамена** 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. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями» предусмотрены следующие баллы текущего контроля освоения дисциплины:

Лабораторная работа 1 (раздел 6, 7) – 30 баллов.

Лабораторная работа 2 (раздел 6, 7) – 30 баллов.

8.1. Примеры лабораторных работ для текущего контроля освоения дисциплины Разделы 6, 7.

Лабораторная работа 1. Разработка моделей, алгоритмов и составления расписаний и моделирование работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательным расположением аппаратов. Максимальная оценка – 30 баллов.

Лабораторная работа 2. Разработка моделей, алгоритмов составления расписаний и моделирование работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продукции. Максимальная оценка – 30 баллов.

Типовые задания по лабораторным работам

Лабораторная работа 1. Разработка моделей, алгоритмов составления расписаний и моделирование работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательным расположением аппаратов.

Цель работы: рассчитать оптимальное расписание работы многопродуктовой периодической совмещенной ХТС с последовательным расположением аппаратов, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным.

Лабораторная работа выполняется каждым студентом индивидуально или группой студентов, состоящей из 2-3 человек. Ниже приведён общий порядок действий студентов при выполнении лабораторной работы № 1.

1. С помощью программ «Синтез ХТС» и «Расписание с заданием маршрутов продуктов», рассчитать оптимальное расписание работы многопродуктовой периодической совмещенной ХТС с последовательным расположением аппаратов, при

котором время выпуска всех продуктов будет минимальным. Для расчета использовать модель с учетом затрат на переналадку и с учетом времени задержки поставки сырья на производство продуктов.

2. Для наилучшей последовательности построить диаграмму Ганта.

3. Выполнить ручной расчет для поиска оптимальной последовательности, используя один из численных методов теории расписаний. Сравнить полученные результаты с ручным расчетом, проведенным для нескольких последовательностей, и сделать выводы.

Задание на лабораторную работу

Пусть необходимо выпустить четыре различных продукта, которые имеют одинаковый технологический маршрут и проходят последовательно через 3 аппарата. Для обработки i -го продукта на j -м аппарате требуется время t_{ij} . Сырье, используемое для получения соответствующих продуктов, поступает на производство в моменты времени d_i . Переналадки j -го аппарата с выпуска i -го продукта на выпуск k -го продукта необходимо время θ_{ik}^j . Последовательность выпуска продуктов $\pi=(i_1, i_2, \dots, i_q, \dots, i_n)$, где i_q – номер продукта, выпускаемого q -м по порядку. В каждый момент времени на каждом аппарате может обрабатываться только один продукт. Рассчитать оптимальную очередность выпуска продуктов π^* , при которой время выпуска всех продуктов будет минимальным. Времена обработки в каждом аппарате при выпуске каждого из продуктов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Матрица времен обработки i -го продукта в j -м аппарате – t_{ij} (ч)

$i \backslash j$	Аппарат 1	Аппарат 2	Аппарат 3
Продукт 1	3	4	6
Продукт 2	6	4	2
Продукт 3	2	4	3
Продукт 4	4	2	5

Времена переналадки аппаратов с производства одного продукта на производство другого продукта представлены в табл. 2. Вводится допущение о том, что времена переналадки одинаковы для всех аппаратов схемы.

Таблица 2

Матрица времени переналадки с производства $i_{(q-1)}$ -го продукта в последовательности на производство i_q -го продукта в последовательности выпуска – $\theta_{i_{(q-1)}, i_q}$ (ч)

$i_{(q-1)} \backslash i_q$	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3	Продукт 4
Продукт 1	–	1	2	1
Продукт 2	1	–	1	2
Продукт 3	2	1	–	1
Продукт 4	1	2	1	–

Времена задержек поставок сырья при производстве каждого продукта приведены в таблице 3.

Таблица 3

Времена задержек поставок сырья при производстве i -го продукта – d_i (ч)

i	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3	Продукт 4
d_i	1	2	1	2

Требуется определить такую последовательность выпуска четырех продуктов на трех аппаратах, чтобы общее время выпуска всех продуктов было минимальным. Выполнить ручной расчет трех последовательностей на выбор. Сравнить результаты машинного и ручного расчетов.

Подготовка к лабораторной работе 1 включает:

1. Математическую формализацию процессов МПХП с последовательным расположением аппаратов и разработка численного алгоритма решения задачи оптимального расписания.
2. Анализ функциональных возможностей и последовательности работы со специализированным программным обеспечением, предназначенным для моделирования процесса составления расписания работы МПХП с последовательными аппаратами.
3. Оформление отчета по лабораторной работе.

Лабораторная работа 2. Разработка моделей, алгоритмов составления расписаний и моделирование работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продукции.

Цель работы: рассчитать оптимальное расписание работы многопродуктовой периодической гибкой ХТС с различными маршрутами выпуска продукции, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным.

Лабораторная работа выполняется каждым студентом индивидуально или группой студентов, состоящей из 2-3 человек. Ниже приведён общий порядок действий студентов при выполнении лабораторной работы № 2.

1. С помощью программ «Синтез ХТС» и «Расписание с заданием маршрутов продуктов», рассчитать оптимальное расписание работы многопродуктовой периодической гибкой ХТС с различными маршрутами выпуска продукции, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным. Для расчета использовать модель с учетом затрат на переналадку и с учетом времени задержки поставки сырья на производство продуктов.
2. Для наилучшей последовательности построить диаграмму Ганта.
3. Выполнить ручной расчет для поиска оптимальной последовательности, используя один из численных методов теории расписаний. Сравнить полученные результаты с ручным расчетом, проведенным для нескольких последовательностей, и сделать выводы.

Задание на лабораторную работу

Пусть необходимо выпустить три различных продукта, которые имеют разный технологический маршрут выпуска (рис. 1). Для обработки i -го продукта на j -м аппарате требуется время t_{ij} . Сырье, используемое для получения соответствующих продуктов, поступает на производство в моменты времени d_i . Для переналадки j -го аппарата с выпуска i -го продукта на выпуск k -го продукта необходимо время θ_{ik}^j . Последовательность выпуска продуктов $\pi = (i_1, i_2, \dots, i_q, \dots, i_n)$, где i_q – номер продукта, выпускаемого q -м по порядку. В каждый момент времени на каждом аппарате может обрабатываться только один продукт. Рассчитать оптимальную очередность выпуска продуктов π^* , при которой время выпуска всех продуктов будет минимальным.

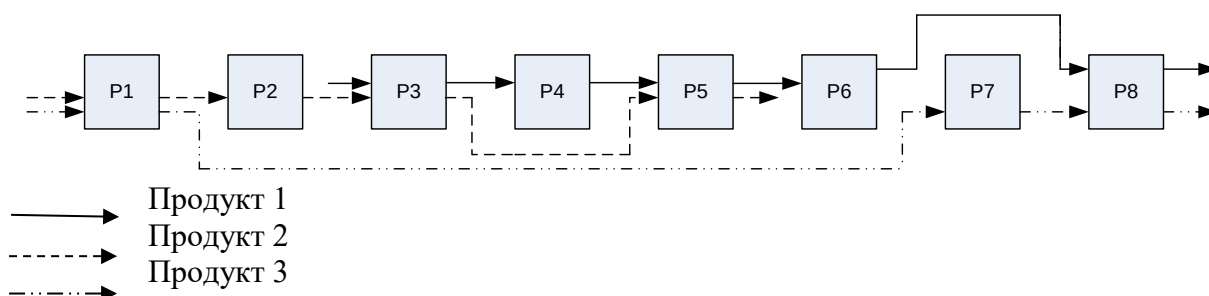


Рис. 1. Структура гибкой ХТС

Технологические маршруты обработки продуктов:

$$\sigma_1 = \{3,4,5,6,8\}$$

$$\sigma_2 = \{1,2,3,5\}$$

$$\sigma_3 = \{1,7,8\}$$

Времена обработки в каждом аппарате при выпуске каждого из продуктов приведены в таблице 1.

Времена переналадки аппаратов с производства одного продукта на производство другого продукта приведены в таблице 2. Вводится допущение о том, что времена переналадки одинаковы для всех аппаратов схемы.

Таблица 1

Матрица времен обработки i -го продукта в j -м аппарате – t_{ij} (ч)

$i \backslash j$	Апп.1	Апп. 2	Апп.3	Апп.4	Апп.5	Апп.6	Апп.7	Апп.8
Продукт 1	0	0	4	6	8	9	0	7
Продукт 2	6	4	3	0	9	0	0	0
Продукт 3	2	0	0	0	0	0	8	7

Таблица 2

Матрица времени переналадки с производства $i_{(q-1)}$ -го продукта в последовательности на производство i_q -го продукта в последовательности выпуска – $\theta_{i(q-1),i_q}$ (ч)

$i_q \backslash i_{(q-1)}$	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3
Продукт 1	–	3	5
Продукт 2	1	–	2
Продукт 3	6	7	–

Времена задержек поставок сырья при производстве каждого продукта приведены в таблице 3.

Таблица 3

Времена задержек поставок сырья при производстве i -го продукта – d_i (ч)

i	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3
d_i	1	8	9

Требуется определить такую последовательность выпуска трех продуктов, чтобы общее время выпуска всех продуктов было минимальным. Выполнить ручной расчет для двух последовательностей. Сравнить результаты машинного и ручного расчетов.

Подготовка к лабораторной работе 2 включает:

1. Математическую формализацию процессов МПХП с различными маршрутами выпуска продукции и разработка численного алгоритма решения задачи оптимального расписания;

2. Анализ функциональных возможностей и последовательности работы со специализированным программным обеспечением, предназначенным для моделирования процесса составления расписания работы МПХП с различными маршрутами выпуска продукции;

3. Оформление отчета по лабораторной работе.

8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (экзамен)

Максимальное количество баллов за экзамен – 40. 1 вопрос – 13-14 баллов, вопрос 2 – 13-14 баллов, вопрос 3 – 13-14 баллов.

1. Интегрированные автоматизированные системы управления: структура и функциональные возможности. (13 баллов)
2. Основные направления интеграции, используемые при создании интегрированных автоматизированных систем управления. (13 баллов)
3. Основные направления декомпозиции, используемые при создании интегрированных автоматизированных систем управления. (13 баллов)
4. Автоматизированные системы управления предприятиями (ERP-системы): функциональные возможности и основные подсистемы. Привести примеры. (13 баллов)
5. Структура и функциональные возможности корпоративной информационной системы «Галактика». (13 баллов)
6. Автоматизированные системы управления производственными процессами (MES-системы): функциональные возможности и основные подсистемы. Привести примеры решаемых ими задач. (13 баллов)
7. Структура и функциональные возможности информационных систем управления складами. (13 баллов)
8. Структура и функциональные возможности информационных систем технического обслуживания и ремонта. (13 баллов)
9. Структура и функциональные возможности информационных систем управления качеством продукции. (13 баллов)
10. Структура и функциональные возможности автоматизированных систем контроля и управления качеством атмосферного воздуха. (14 баллов)
11. Структура интегрированных систем управления безопасностью химических производств. (13 баллов)
12. Методология и модели структурного анализа сложных систем (13 баллов)
13. Бизнес-процессы: основные понятия и определения. (13 баллов)
14. Основные этапы стратегии и постановка задач гибкого управления многоассортиментными химическими производствами. (13 баллов)
15. Классификация возмущающих воздействий в многоассортиментных химических производствах. Привести примеры. (13 баллов)
16. Классификация управляющих воздействий, целей и критериев функционирования многоассортиментных химических производствах. Привести примеры. (13 баллов)
17. Классификация задач кибернетической организации многоассортиментных химических производствах. (13 баллов)
18. Математические модели сетевого анализа и управления проектами. (13 баллов)
19. Иерархия задач планирования и управления химическими предприятиями. (13 баллов)
20. Основные этапы и шаги формулирования задач технико-экономического планирования. (13 баллов)
21. Общая математическая формулировка задач технико-экономического планирования. Привести примеры. (13 баллов)
22. Графический метод решения задач технико-экономического планирования. Привести примеры. (13 баллов)
23. Трудности при решении задач технико-экономического планирования. Привести примеры. (13 баллов)
24. Постановка и решение задач оптимального календарного планирования. Привести примеры. (13 баллов)
25. Постановка и решение задач оперативно-календарного планирования. Привести примеры. (13 баллов)
26. Постановка и решение задач оперативного управления. Привести примеры. (13 баллов)
27. Постановка задачи и определение оптимальной стратегии переналадки

технологического оборудования. Привести примеры. (14 баллов)

28. Составление расписаний работы многопродуктового технологического аппарата. (14 баллов)

29. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами с учетом различия моментов поступления исходных материалов в производство и затрат на переналадку аппарата с выпуска одного продукта на другой продукт. (14 баллов)

30. Постановка и решение задач составления расписаний работы серийных многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами. (14 баллов)

31. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с идентичными параллельными аппаратами. (14 баллов)

32. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с неидентичными параллельными аппаратами и учетом затрат на переналадку с выпуска одного продукта на другой продукт и серийность выпуска продукции. (14 баллов)

33. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продукции. (14 баллов)

34. Постановка и методы решения задач комбинаторной оптимизации с перестановочными расписаниями. (14 баллов)

35. Численные методы решения задач теории расписаний: классификация и общая постановка. (14 баллов)

36. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств методом ветвей и границ. Привести примеры. (14 баллов)

37. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств методом локального поиска. Привести примеры. (14 баллов)

38. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств статистическим методом локального поиска. Привести примеры. (14 баллов)

39. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств статистическим методом глобального поиска. Привести примеры. (14 баллов)

40. Методы и информационные системы логистического управления производственными процессами. (14 баллов)

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

8.3. Структура и примеры экзаменационных билетов

Экзамен по дисциплине «Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по разделам рабочей программы дисциплины. Билет для экзамена включает 3 теоретических вопроса. Ответы на вопросы экзамена оцениваются из максимальной оценки 40 баллов следующим образом: максимальное количество баллов за первый вопрос – 13-14 баллов, второй – 13-14 баллов, третий – 13-14 баллов. Баллы указаны в билете около каждого вопроса.

Пример билета для экзамена.

«Утверждаю» Зав. каф. КХТП (Должность, название кафедры) Глебов М.Б. (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	Министерство науки и высшего образования РФ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева Кафедра кибернетики химико-технологических процессов 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии Магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий» Дисциплина «Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями»
Билет № 1 1. Интегрированные автоматизированные системы управления: структура и функциональные возможности. (13 баллов) 2. Классификация управляющих воздействий, целей и критериев функционирования многоассортиментных химических производствах. Привести примеры. (13 баллов) 3. Постановка задачи и определение оптимальной стратегии переналадки технологического оборудования. Привести примеры. (14 баллов)	

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Егоров А.Ф. Интегрированные автоматизированные системы управления химическими производствами и предприятиями: учебное пособие для вузов / А.Ф. Егоров. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 248 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13871-9. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/496604> (дата обращения: 21.04.2024).
2. Оптимизация расписания работы многопродуктовых химико-технологических систем. Лабораторный практикум: учеб.пособие / А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая, С.А. Левушкина. — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. — 118 с.

Б) Дополнительная литература:

1. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических и производств. — М.: КолосС, 2010. — 526 с. (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений) (раздел 5.1.2 (31 с.), раздел 5.3 (5 с.)).
2. Пиггот С.Г. Интегрированные АСУ химическими производствами. М.: Химия, 1985. — 120 с.
3. Шайкин А.Н. Практические основы линейной оптимизации: Учеб. пособие / под ред. А.Ф. Егорова. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. — 144 с.
4. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности. — М.: Химия, 1990. — 320 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

Научно-технические журналы:

- Проблемы управления» ISSN печатной версии: 1819-3161.
- «Автоматизация в промышленности» ISSN печатной версии: 1819-5962;
- «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика» ISSN печатной версии: 2073-0004;
- «СТА: современные технологии автоматизации» ISSN печатной версии: 0206-975X;
- «Программные продукты и системы» ISSN печатной версии: 0236-235X, ISSN онлайн-версии: 2311-2735.
- «Химическая промышленность сегодня» ISSN печатной версии: 0023-110X;
- «Химическая технология» ISSN печатной версии: 1684-5811;
- «Стандарты и качество» ISSN печатной версии: 0038-9692;
- «Контроль качества продукции» ISSN печатной версии: 2541-9900.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет:

1. ERP online. Независимый ERP-портал [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.erp-online.ru> (дата обращения: 20.04.2025).
2. Группа компаний RTSoft [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rtsoft.ru/> / (дата обращения: 20.04.2025).
3. SCADA TRACE MODE. AdAstrA Research Group [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.adastra.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).
4. SCADA TRACE MODE [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tracemode.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).
5. TAdviser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

1. Программное обеспечение:
 - программное приложение «Расписание с заданием маршрутов выпуска продуктов», разработанное на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии;
 - программа «Синтез химико-технологических систем», разработанная на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии.
2. Подготовлены варианты заданий для выполнения лабораторных работ, направленных на освоение студентами численных методов и алгоритмов решения задач теории расписаний и приобретение навыков составления расписания для многопродуктовых периодических химических производств с использованием специализированного программного обеспечения с целью анализа полученных результатов при составлении оптимального расписания для конкретного химического производства.

Указанные информационно-образовательные ресурсы размещены на учебном портале РХТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://study.muctr.ru/course/view.php?id=206> (дата обращения: 05.05.2025).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн с использованием LMS Moodle, включая обмен сообщениями, новостной форум и др.

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 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 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 проводятся в форме лекций, практических, лабораторных занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеется 1 компьютерный класс с 13 компьютерами, объединенными в локальную сеть с выходом в Интернет, и одним принтером.

Для проведения практических занятий по дисциплине имеются: учебная аудитория, оборудованная мультимедийным оборудованием.

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

На кафедре КХТП для проведения практических и лабораторных занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.4.

При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях или при проведении лабораторных работ на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки.

Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.3. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

Информационно-образовательные, информационно-методические, учебно-исследовательские ресурсы представлены на учебном портале РХТУ им. Д.И. Менделеева.

11.4. Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1.	Microsoft Office Standard 2019 В составе: • Word • Excel • Power Point • Outlook	Контракт №175-262ЭА/2019 от 30.12.2019	13 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Структура и функциональные возможности интегрированных автоматизированных систем управления химическими предприятиями (ИАСУ ХП)	Знает: перечень функций, выполняемых отдельными подсистемами интегрированных автоматизированных систем управления химическими предприятиями (ИАСУ ХП) Умеет: представить иерархическую структуру ИАСУ ХП	Оценка экзамене на
Раздел 2. Системы управления качеством продукции, окружающей среды и безопасностью химических производств	Знает: функции и структуру информационных систем контроля и управления качеством продукции и окружающей среды Умеет: представить иерархическую структуру информационных систем управления качеством	Оценка экзамене на
Раздел 3. Методологические основы, методы и инструментальные средства анализа и проектирования сложных систем и бизнес-процессов организаций	Знает: методы структурного анализа сложных химических производств Умеет: производить анализ бизнес-процессов сложных химических производств	Оценка экзамене на
Раздел 4. Методологические основы и общая формулировка задач оптимального функционирования химических производств	Знает: формулировки задач оптимального функционирования непрерывных и периодических химических производств Умеет: формализовать задачи оптимального функционирования химических производств в условиях неопределенности	Оценка экзамене на
Раздел 5. Модели и	Знает: формулировки и методы решения задач	Оценка на

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
методы решения задач технико-экономического планирования, календарного планирования и оперативного управления химическими производствами	технико-экономического и оптимального календарного планирования Умеет: формализовать математические постановки задач технико-экономического и календарного планирования, а также задач оперативного управления химическими производствами Владеет: методами решения задач планирования и оперативного управления химическими производствами	экзамене
Раздел 6. Модели составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств	Знает: формулировки решения задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств Умеет: формализовать задачи составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными и параллельными аппаратами, а также для производств с различными маршрутами выпуска продукции Владеет: методами составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств	Оценка за лабораторные работы 1, 2. Оценка на экзамене
Раздел 7. Численные методы решения задач теории расписаний	Знает: модели и численные методы решения задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств Умеет: решать задачи составления расписаний работы периодических многоассортиментных химических производств с использованием численных методов Владеет: численными методами решения задач теории расписаний для многопродуктовых периодических химических производств	Оценка за лабораторные работы 1, 2. Оценка на экзамене
Раздел 8. Методы и информационное обеспечение логистического управления химическими производствами	Знает: методы логистического управления химическими производствами Умеет: представить функциональную и информационную структуру логистических систем управления химическими производствами	Оценка на экзамене

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 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 в РХТУ им. Д.И. Менделеева, принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 30.10.2019, протокол № 3, введенным в действие приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.11.2019 № 646А;

– 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
«Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления
химическими предприятиями»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки
 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
 нефтехимии и биотехнологии»
 магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
		протокол заседания кафедры № _____ от « ____ » _____ 20__ г.
		протокол заседания кафедры № _____ от « ____ » _____ 20__ г.
		протокол заседания кафедры № _____ от « ____ » _____ 20__ г.
		протокол заседания кафедры № _____ 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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Методы искусственного интеллекта в управлении химическими
производствами»**

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

**Магистерская программа
«Кибернетика для инновационных технологий»**

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена

к.т.н., доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов

П.Г. Михайловой

д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов

Т.В. Савицкой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол № 8.

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 кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина **«Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» и является дисциплиной по выбору студента.

Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области: «Вычислительная математика», «Высшая математика», «Методы кибернетики химико-технологических процессов», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», а также на знаниях, полученных при изучении дисциплин подготовки магистрантов: «Дополнительные главы математики», «Инженерное творчество и инновационный менеджмент в химии и химической технологии», «Моделирование технологических и природных систем», «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами».

Цель дисциплины – научить магистрантов теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования методов искусственного интеллекта для решения задач прогнозирования, классификации, оптимизации и управления химико-технологическими процессами, системами и предприятиями в целом.

Задачи дисциплины:

- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования методов искусственного интеллекта для решения неформализованных задач в химической технологии;
- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам разработки нечетких моделей представления знаний в системах искусственного интеллекта;
- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии;
- обучение теоретическим методам искусственного интеллекта, основанным на имитации физических и биологических процессов, для решения задач оптимизации в химии и химической технологии и управлении химико-технологическими процессами.

Дисциплина **«Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами»** преподается в 3-м 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	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 – 6)
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной	ПК-2. Готов к анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования,	ПК-2.2. Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные	Профессиональный стандарт 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской

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
характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	комплексы для проведения научно-исследовательских работ	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 – 6)
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-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	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

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
	технологического производства).			отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
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-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий ПК-4.3. Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	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 – 6)

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

Знать:

- основные понятия, классификации и области применения систем искусственного интеллекта для решения неформализованных задач химической технологии;
- методы машинного обучения;
- теоретические основы искусственных нейронных сетей (ИНС), используемых для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии;
- теоретические методы искусственного интеллекта, основанные на имитации физических и биологических процессов, для решения задач оптимизации в химии и химической технологии и управлении химико-технологическими процессами;
- основные этапы нечеткого логического вывода;
- методы дефазификации в системах нечеткого вывода;
- нечеткие модели и алгоритмы классификации, управления, принятия решений в задачах химической технологии;
- зарубежные и отечественные программные средства в области искусственного интеллекта: языки программирования (Python, R и др.), пакеты программ, фреймворки и библиотеки (Loginom Community Edition, TensorFlow, Keras, Caffe, Deep Learning Toolbox (ранее Neural Network Toolbox), Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB) и др.);
- источники, на которых размещены наборы данных для машинного обучения (Google, TensorFlow, GitHub, Kaggle).

Уметь:

- формулировать постановки задач моделирования, прогнозирования, оптимизации и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием теории искусственного интеллекта;
- разрабатывать структуры нейронных сетей с использованием онлайн-программного обеспечения Diagrams.net для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии и проводить исследования объекта с использованием аппарата ИНС;
- формировать обучающие и тестовые выборки для обучения нейронных сетей, в том числе, с использованием Microsoft Excel;
- формировать базы правил в системах нечеткого вывода и выбирать способы фазификации и дефазификации входных и выходных переменных;
- применять эволюционные алгоритмы решения задач оптимизации в химии и химической технологии.

Владеть:

- навыками использования современных программных средств для реализации нейросетевых (Loginom, Deep Learning Toolbox (ранее Neural Network Toolbox (MATLAB)), Python), нечетких логических Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB), нейронечетких моделей и генетических алгоритмов (пакет Genetic Algorithms языка R) для решения задач химической технологии.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	7	252	189
Контактная работа – аудиторные занятия:	2,36	85	63,75
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0.945	34	25.5
Лабораторные работы (ЛР)	0.945	34	25.5
Самостоятельная работа	3,64	131	98,25
Контактная самостоятельная работа	3,64	-	-
Подготовка к контрольным работам		21	15,75
Подготовка к лабораторным занятиям		36	27
Реферат		17	12,75
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		57	42,75
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0.4	0.3
Подготовка к экзамену.		35.6	26.7
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий для магистрантов

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	Введение	2,5	0,5	-	-	2
1.	Раздел 1. Системы искусственного интеллекта	16,5	1,5	-	-	15
1.1.	Системы искусственного интеллекта: основные понятия, определения, направления исследований, классификация и области применения.	5,8	0,8	-	-	5
1.2	Методы решения неформализованных задач в химической технологии с использованием теории искусственного интеллекта	4,2	0,2	-	-	4
1.3.	Разработка стандартов в области искусственного интеллекта. Этика применения искусственного интеллекта	3,3	0,3			3
1.4.	Обзор зарубежных и отечественных программных средств в области искусственного интеллекта	3,2	0,2	-	-	3
2	Раздел 2. Методы машинного обучения	31,5	1,5	8		22
2.1.	Понятие, классификация и области использования методов машинного обучения. Источники, на которых размещены наборы данных (Dataset) для машинного обучения (Google, TensorFlow, GitHub, Kaggle)	12,7	0,7	2	-	10
2.2.	Краткая характеристика методов машинного обучения для решения задач регрессионного анализа и понижения размерности данных, классификации и кластеризации	18,8	0,8	6	-	12
3.	Раздел 3. Построение систем искусственного интеллекта на основе теории нечётких множеств	68	6	16	10	36
3.1.	Природа неопределенностей: неопределенность исходной информации и целей функционирования системы.	1,2	0,2	-	-	1
3.2.	Основные понятия теории нечетких множеств: лингвистической переменной, универсального множества.	2,6	0,6	-	-	2
3.3.	Степень и функция принадлежности. Способы задания (описания) функции принадлежности. Стандартные формы функции принадлежности.	6	1	2	-	3

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
3.4.	Основные свойства нечётких множеств.	7,5	0,5	4	-	3
3.5.	Основные этапы нечеткого логического вывода.	8,5	0,5	4	-	4
3.6.	Базы правил в нечетких моделях: свойства правил, полнота нечеткой модели, непротиворечивость, связность и избыточность базы правил.	6,8	0,8	2	6	4
3.7.	Типы нечетких моделей: модели Мамдани, модели Такаги-Сугено, реляционные модели, нейронечеткие модели.	9	1	2	-	6
3.8.	Нечеткая классификация: примеры использования в задачах химической технологии.	5,2	0,2	2		3
3.9.	Нечёткие алгоритмы. Принятие решений на основе нечётких алгоритмов. Общие принципы построения нечётких систем управления. Блок-схема нечёткого регулятора. Этапы формирования управляющих воздействий. Процедура синтеза нечёткого регулятора.	10,6	0,6	-	6	4
3.10.	Алгоритм расчёта управляющего воздействия в нечётком регуляторе.	5,3	0,3	-	4	1
3.11.	Примеры синтеза и использования нечётких регуляторов в системах управления химико-технологическими процессами.	5,3	0,3	-	-	5
4.	Раздел 4. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии	62,5	4,5	6	18	34
4.1.	Обзор современных архитектур нейронных сетей. Области использования разных архитектур. Примеры использования ИНС для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии	6,5	0,5			6
4.2.	Формирование обучающей и тестовой выборок. Факторы, влияющие на качество обучения.	6,5	0,5	-	2	4
4.3.	Нейронные сети прямого распространения: варианты использования в системах автоматического регулирования	30,5	0,5	6	16	8

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов				
		Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
	химико-технологических процессов.					
4.4.	Нейронные сети с обратными связями и алгоритмы их обучения.	10	2	-	-	8
4.5.	Нейронные сети адаптивного резонанса: структуры и алгоритмы обучения. Использование в системах управления химико-технологическими процессами для решения задач распознавания ситуаций (состояний).	9	1	-	-	8
5.	Раздел 5. Методы искусственного интеллекта, основанные на имитации физических и биологических процессов	35	3	4	6	22
5.1.	Эволюционные алгоритмы решения задач оптимизации в химии и химической технологии. Классический генетический алгоритм и его модификации. Генетические операторы. Методы селекции. Особые процедуры репродукции	20	2	4	3	11
5.2.	Применение алгоритмов имитации физических и биологических процессов для обучения искусственных нейронных сетей при управлении химико-технологическими процессами	15	1	-	3	11
	ИТОГО	216	17	34	34	131
	Экзамен	36				
	ИТОГО	252				

4.2. Содержание разделов дисциплины

Введение. Цель и задачи дисциплины. Краткий исторический очерк развития теории искусственного интеллекта.

Раздел 1. Системы искусственного интеллекта

1.1. Системы искусственного интеллекта: основные понятия, определения, направления исследований, классификация и области применения. Неформализованные задачи в химической технологии. Промышленный интернет и большие данные – перспективы и примеры использования в химической технологии.

1.2. Методы решения неформализованных задач в химической технологии с использованием теории искусственного интеллекта.

1.3. Разработка стандартов в области искусственного интеллекта. Этика применения искусственного интеллекта.

1.4. Обзор зарубежных и отечественных программных средств в области искусственного интеллекта: языки программирования (Python, R и др.), пакеты программ, фреймворки и библиотеки (Loginom Community Edition, TensorFlow, Keras, Caffe, Deep Learning Toolbox (ранее Neural Network Toolbox), Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB) и др.).

Раздел 2. Методы машинного обучения

2.1. Понятие, классификация и области использования методов машинного обучения. Источники, на которых размещены наборы данных (Dataset) для машинного обучения (Google, TensorFlow, GitHub, Kaggle).

2.2. Краткая характеристика методов машинного обучения для решения задач регрессионного анализа и понижения размерности данных, классификации и кластеризации.

Раздел 3. Построение систем искусственного интеллекта на основе теории нечётких множеств

3.1. Природа неопределенностей: неопределенность исходной информации и целей функционирования системы.

3.2. Основные понятия теории нечетких множеств: лингвистической переменной, универсального множества.

3.3. Степень и функция принадлежности. Способы задания (описания) функции принадлежности. Стандартные формы функции принадлежности.

3.4. Основные свойства нечётких множеств.

3.5. Основные этапы нечеткого логического вывода.

3.6. Базы правил в нечетких моделях: свойства правил, полнота нечеткой модели, непротиворечивость, связность и избыточность базы правил.

3.7. Типы нечетких моделей: модели Мамдани, модели Такаги-Сугено, реляционные модели, нейронечеткие модели.

3.8. Нечеткая классификация: примеры использования в задачах химической технологии.

3.9. Нечёткие алгоритмы. Принятие решений на основе нечётких алгоритмов. Общие принципы построения нечётких систем управления. Блок-схема нечёткого регулятора. Этапы формирования управляющих воздействий. Процедура синтеза нечёткого регулятора.

3.10. Алгоритм расчёта управляющего воздействия в нечётком регуляторе.

3.11. Примеры синтеза и использования нечётких регуляторов в системах управления химико-технологическими процессами.

Раздел 4. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии

4.1. Обзор современных архитектур нейронных сетей. Области использования разных архитектур. Примеры использования ИНС для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии

4.2. Формирование обучающей и тестовой выборок. Факторы, влияющие на качество обучения.

4.3. Нейронные сети прямого распространения: варианты использования в системах автоматического регулирования химико-технологических процессов.

4.4. Нейронные сети с обратными связями и алгоритмы их обучения.

4.5. Нейронные сети адаптивного резонанса: структуры и алгоритмы обучения. Использование в системах управления химико-технологическими процессами для решения задач распознавания ситуаций (состояний).

Раздел 5. Методы искусственного интеллекта, основанные на имитации физических и биологических процессов

5.1. Эволюционные алгоритмы решения задач оптимизации в химии и химической технологии. Классический генетический алгоритм и его модификации. Генетические операторы. Методы селекции. Особые процедуры репродукции.

5.2. Применение алгоритмов имитации физических и биологических процессов для обучения искусственных нейронных сетей при управлении химико-технологическими процессами.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5
	Знать:					
1	основные понятия, классификации и области применения систем искусственного интеллекта для решения неформализованных задач химической технологии;	+		+	+	+
2	методы машинного обучения;		+			
3	теоретические основы ИНС, используемых для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии;				+	
4	теоретические методы искусственного интеллекта, основанные на имитации физических и биологических процессов, для решения задач оптимизации в химии и химической технологии и управлении химико-технологическими процессами;					+
5	основные этапы нечеткого логического вывода;			+		
6	методы дефаззификации в системах нечеткого вывода;			+		
7	нечеткие модели и алгоритмы классификации, управления, принятия решений в задачах химической технологии.			+		
8	зарубежные и отечественные программные средства в области искусственного интеллекта: языки программирования (Python, R и др.), пакеты программ (Loginom Community Edition, TensorFlow, <u>Keras</u> , Deep Learning Toolbox (панель Neural Network Toolbox), Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB) и др.	+				
9	источники, на которых размещены наборы данных для машинного обучения (Google, TensorFlow, GitHub, Kaggle)		+			
	Уметь:					
10	формулировать постановки задач моделирования, прогнозирования, оптимизации и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием теории искусственного интеллекта;			+	+	+
11	разрабатывать структуры нейронных сетей с использованием онлайн-программного обеспечения Diagrams.net для решения задач распознавания образов , прогнозирования и управления в химической технологии и проводить исследования объекта с использованием аппарата ИНС;				+	

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5
12	формировать обучающие и тестовые выборки для обучения нейронных сетей, в том числе, с использованием Microsoft Excel			+		+	
13	формировать базы правил в системах нечеткого вывода и выбирать способы фаззификации и дефаззификации входных и выходных переменных;				+		
14	применять эволюционные алгоритмы решения задач оптимизации в химии и химической технологии.						+
	Владеть:						
15	навыками использования современных программных средств для реализации нейросетевых (Loginom, Deep Learning Toolbox (ранее Neural Network Toolbox (MATLAB))), нечетких логических Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB) , нейронечетких моделей и генетических алгоритмов (пакет Genetic Algorithms языка R) для решения задач химической технологии.				+	+	+
	В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <u>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</u>						
	Код и наименование ПК (перечень из п.2)	Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)					
16	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+		+	+	+
17	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-2.2. Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ			+	+	+
18	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов			+	+	
19	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации			+	+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5
		энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий					
		ПК-4.3. Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств			+	+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Примерные темы практических занятий по дисциплине

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1.	2.1	Поиск наборов данных (Dataset) в области химии, химической технологии и смежных отраслей промышленности, загрязнения окружающей среды, экологии, управления качеством продукции. для машинного обучения на различных ресурсах (Google, TensorFlow, GitHub, Kaggle и др.)	2
2.	2.2	Для решения задач регрессионного анализа и понижения размерности данных, классификации и кластеризации с использованием методов машинного обучения	6
3.	3.3	Решение типовых задач на представление функций принадлежности различными способами: графическим, аналитическим, табличным с использованием Excel	2
4.	3.4	Решение типовых задач определения основных свойств нечётких множеств (носителей, точек перехода, срезов, высот) и выполнения операций над нечёткими множествами (объединения, пересечения, алгебраических произведения и суммы, дополнения, концентрации и растяжения)	4
5.	3.5	Решение типовых задач на использование различных методов дефаззификации (левого, правого и среднего максимумов, центра тяжести, модифицированного метода центра тяжести)	4
6.	3.5, 3.6, 3.7	Разработка нечетких логических моделей для управления химико-технологическими процессами: формирование базы правил систем нечеткого вывода; фаззификация входных переменных; агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций; активизация или композиция подзаключений в нечетких правилах продукций; аккумулялирование заключений нечетких правил продукций; дефаззификация выходных переменных	4
7.	3.5, 3.8	Разработка нечетких логических правил и моделей представления знаний для решения задач нечеткой классификации и кластеризации	2
8.	3.2	Разработка структур нейронных сетей для использования в системах автоматического регулирования для моделирования объектов управления и регуляторов на основе ИНС с использованием онлайн-программного обеспечения Diagrams.net	6
9.	5.1	Решение задач оптимизации в химии и химической технологии с использованием эволюционных алгоритмов	4

6.2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «*Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами*», а также дает знания о решения задач прогнозирования и распознавания образов с использованием современных программных средств

нейросетевого моделирования; разработку и моделирование в среде MATLAB (ППП Neural Network Toolbox и Simulink) автоматических систем регулирования с использованием нейронных сетей прямого распространения и регуляторов на основе нечеткой логики; решение задач оптимизации в химии и химической технологии с использованием эволюционных алгоритмов пакета Genetic Algorithms языка R.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 30 баллов (максимально от 6 до 10 баллов за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

Примеры лабораторных работ и разделы, которые они охватывают

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Часы
1.	3.6, 3.9, 3.10	Синтез и моделирование работы автоматических систем регулирования в задачах управления химико-технологическими процессами на основе нечётких регуляторов	10
2.	4.1, 4.2	Решение задач прогнозирования и распознавания образов с использованием современных программных средств нейросетевого моделирования	6
3.	4.1, 4.2	Разработка и моделирование в среде MATLAB (ППП Neural Network Toolbox и Simulink) автоматических систем регулирования с использованием нейронных сетей прямого распространения	12
4.	5.1,5.2	Решение задач оптимизации в химии и химической технологии с использованием эволюционных алгоритмов пакета Genetic Algorithms языка R	6

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студента в объеме 131 часа (подготовка к экзамену – 36 часов). Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины;

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;

- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;

- Самостоятельное изучение дополнительного материала по разделам дисциплины на онлайн-курсах:

- Stepik (<https://stepik.org/catalog>;
- Stanford School of Engineering <https://online.stanford.edu/courses/cs221-artificial-intelligence-principles-and-techniques>;
- Coursera(<https://www.coursera.org/courses?query=artificial%20intelligence&page=1>)

- прохождение онлайн-курсов по изучению функционала MS Excel;
- поиск и структурирование информации из репозитория данных для выполнения лабораторных работ по разделам дисциплины;

- подготовку к сдаче **экзамена**, лабораторного практикума и реферата 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 использованием OneNote, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

По дисциплине «Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами» предусмотрены следующие баллы текущего контроля освоения дисциплины:

- Тест (раздел 1) – 2 балла;
- Тест (раздел 2) – 2 балла;
- Самостоятельная работа (кейс) (раздел 2) – 4 балла;
- Контрольная работа №1 (раздел 3) – 6 баллов;
- Контрольная работа №2 (раздел 3) – 6 баллов;
- Контрольная работа №3 (раздел 3) – 6 баллов;
- Лабораторная работа №1 (раздел 3) – 8 баллов;
- Лабораторная работа №2 (раздел 4) – 6 баллов;
- Лабораторная работа №3 (раздел 4) – 8 баллов;
- Лабораторная работа №4 (раздел 5) – 6 баллов;
- Реферат – 6 баллов.

8.1. Задание на самостоятельную работу (кейс) для текущего контроля освоения дисциплины

Максимальная оценка за работу – 4 балла.

1. На одном из сайтов:

- Kaggle
- Google Dataset Search
- Machine Learning Repository .
- GitHub <https://github.com/orgs/datasets/repositories>

или в любом другом общедоступном репозитории найти наборы (1-2 шт.) числовых данных (dataset) в области химии, химической технологии и смежных отраслей промышленности, загрязнения окружающей среды, экологии, управления качеством продукции.

2. Привести описание этих данных, структуру самого набора, скачать файл с этим набором и представить его в формате Excel. Данные представить по столбцам в следующем виде:

X1	X2	X3	...	Xn	Y1	Y2	...	Ym

X – входные данные

Y – выходные данные

3. После согласования найденного набора и утверждения преподавателем входных и выходных данных, с использованием одного из методов машинного обучения (по заданию преподавателя) провести прогнозирование выходных данных модели. Результаты обучения проверить на данных, которые не входили в исходный набор.

8.2. Примеры тестовых заданий для текущего контроля освоения дисциплины

Максимальная оценка за тест – 6 баллов.

ТЕСТ

Раздел 1. Системы искусственного интеллекта

Правильные ответы выделены курсивом.

1. Выберите определение термина «искусственный интеллект»

- a. *Комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение, поиск решений без заранее заданного алгоритма и достижение инсайта) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека*
- b. Информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические процессы. В такой системе датчики, оборудование и информационные системы соединены на протяжении всей цепочки в логику управления для создания стоимости, выходящей за рамки одного предприятия или бизнеса. Эти системы взаимодействуют друг с другом с помощью стандартных интернет-протоколов для прогнозирования, самонастройки и адаптации к изменениям
- c. Качество психики, состоящее из способности осознавать новые ситуации, способности к обучению и запоминанию на основе опыта, пониманию и применению абстрактных концепций, и использованию своих знаний для управления окружающей человека средой.
- d. Общая способность к познанию и решению проблем, которая объединяет познавательные способности: ощущение, восприятие, память, представление, мышление, воображение

2. Выберите определение, соответствующее понятию Промышленный Интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT)

- a. *это система объединенных компьютерных сетей и подключенных к ним промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и программным обеспечением для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека*
- b. это глобальная вычислительная сеть, объединяющая в себе различного рода физические объекты, способные взаимодействовать между собой и внешним миром
- c. концепция сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой
- d. всемирная система объединенных компьютерных сетей для хранения и передачи информации

3. Большие данные (Big Data) – это:

- a. обширные наборы данных – главным образом, по таким характеристикам данных, как объем, разнообразие, скорость генерации и/или изменчивость, которые требуют использования технологии масштабирования для эффективного хранения, обработки, управления и анализа.
- b. методы обнаружения в данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности
- c. набор данных
- d. обработанная и структурированная информация в табличном виде

4. Выберите языки программирования, наиболее популярные в машинном обучении

- a. Python
- b. C++,
- c. JavaScript,
- d. Julia
- e. R
- f. Delphi
- g. FBD
- h. SFC

5. Выберите фреймворки, используемые для машинного обучения:

- a. TensorFlow
- b. PyTorch
- c. Keras
- d. MXNet
- e. Microsoft Cognitive Toolkit
- f. Caffe
- g. Swift
- h. Django
- i. Ruby on Rails

6. Существенными характеристиками систем искусственного интеллекта в соответствии с ГОСТ Р 59276-2020 Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения являются:

- a. Функциональные возможности
- b. Надежность
- c. Эффективность
- d. Практичность
- e. Сопровождаемость
- f. Мобильность
- g. Взаимозаменяемость
- h. Полнота
- i. Стоимость

7. Выберите факторы снижения качества на стадии разработки систем искусственного интеллекта

- a. Недостаточная представительность обучающей выборки, использованной при создании системы ИИ
- b. Смещенность обучающей выборки, способная привести к предвзятости (необъективности) результатов работы системы ИИ.
- c. Неоптимальность используемой модели данных.

- d. Недостаточный уровень унификации и низкая интероперабельность разрабатываемой системы
- e. Недостаточная защищенность обрабатываемых персональных данных
- f. Недостаточная периодичность тестирования системы ИИ
- g. Недостаточная защищенность информации о модели данных, используемой в системе ИИ.

8. Какие из уровней архитектуры выделяют в системах ИИ?

- h. *физический уровень*
- i. *инфраструктурный уровень (уровень информационной инфраструктуры)*
- j. *прикладной уровень*
- k. эксплуатационный уровень
- l. уровень поддержки
- m. уровень потребителя

9. Какие из модулей (toolbox) MATLAB реализуют методы машинного обучения и искусственного интеллекта?

- a. *Statistics and Machine Learning Toolbox*
- b. *Deep Learning Toolbox*
- c. *Reinforcement Learning Toolbox*
- d. *Deep Learning HDL Toolbox*
- e. Curve Fitting Toolbox
- f. Global Optimization Toolbox
- g. Partial Differential Equation Toolbox

10. Какие из нижеперечисленных пакетов языка R реализуют методы машинного обучения и искусственного интеллекта?

- a. *randomForest*
- b. *nnet*
- c. *e1071*
- d. *Genetic Algorithms*
- e. *Lvplot*
- f. *ggplot2*
- g. *Labeling*

ТЕСТ

Раздел 2. Методы машинного обучения

Правильные ответы выделены курсивом.

1. Какие подходы используются в машинном обучении?

- a. *Обучение с учителем*
- b. *Обучение без учителя*
- c. *Обучение с подкреплением*
- d. Обучение с тренировкой
- e. Обучение с валидацией
- f. Обучение с ранжированием

2. Обучение, когда имеются примеры, в каждом из которых определенному набору значений входных переменных соответствует набор значений выходных переменных, называется:

- a. *Обучение с учителем*
- b. Обучение без учителя
- c. Обучение с подкреплением

- d. Обучение с тренировкой
- e. Обучение с валидацией
- f. Обучение с ранжированием

3. Выберите типичные задачи, которые могут решаться с использованием различных подходов в машинном обучении:

- a. Классификация
- b. Регрессия
- c. Ранжирование
- d. Кластеризация
- e. Уменьшение размерности
- f. Дискретизация
- g. Нормализация

4. Дана экспериментальная выборка, представляющая собой множество векторов переменных $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$, характеризующих известные свойства объектов, событий, процессов или явлений. Задача: сгруппировать объекты, наиболее близкие по этим свойствам (наиболее «похожие») так, чтобы:

- объекты внутри одной группы имели большее сходство, чем объекты из любой другой группы;
- количество групп может как задаваться изначально, так и определяться по в процессе обучения.

Данная задача является задачей:

- a. Классификации
- b. Регрессии
- c. Ранжирования
- d. Кластеризации
- e. Уменьшения размерности
- f. Дискретизации
- g. Нормализации

5. Выберите методы, наиболее часто использующиеся в задачах классификации при машинном обучении:

- a. Логистическая регрессия
- b. Метод опорных векторов (Support vector machine, SVM)
- c. Наивный Байесовский классификатор
- d. Деревья решений
- e. Ансамбли деревьев решений (Random Forests – случайный лес)
- f. Градиентный бустинг (Gradient Boosted Trees)
- g. Искусственные нейронные сети
- h. Метод k-ближайших соседей
- i. Автоэнкодеры
- j. Линейная регрессия
- k. Гребневая регрессия

6. Выберите методы, наиболее часто использующиеся в задачах кластеризации при машинном обучении:

- a. Метод k-средних (k-means)
- b. Иерархическая кластеризация
- c. EM-алгоритм (Expectation-maximization)
- d. Кластеризация на основе плотности (Density-based spatial clustering of applications with noise, DBSCAN)

- e. Метод обратной матрицы
- f. Метод Крамера

7. Выберите методы, наиболее часто использующиеся в задачах уменьшения размерности при машинном обучении:

- a. Метод главных компонент (Principal component analysis, PCA)
- b. Метод независимых компонент (Independent component analysis, ICA)
- c. Многомерное шкалирование (Multidimensional scaling, MDS)
- d. Автоэнкодеры
- e. Метод стохастического вложения соседей с t -распределением (t-distributed stochastic neighbor embedding, t-SNE)
- f. Метод Гаусса-Зейделя
- g. Симплекс-метод
- h. Метод Монте-Карло

8. Выберите утверждения, которые соответствуют задаче уменьшения размерности при машинном обучении

- a. Обучение без учителя
- b. Помогает устранять «проклятие размерности»
- c. Удобно использовать для визуализации, когда многомерный набор данных сводится к 2-3 измерениям, на которых могут быть видны закономерности
- d. Уменьшает размер выборки, требуемое для хранения место и время для обработки
- e. Может помочь другим методам машинного обучения за счёт устранения избыточных данных (например, сильно скоррелированных)
- f. Обучение с учителем
- g. Обучение с подкреплением
- h. Основной метрикой качества является аккуратность

9. Выберите метрики качества классификации

- a. Accuracy (аккуратность)
- b. Precision (точность)
- c. Recall (полнота)
- d. F-мера
- e. Logistic Loss (логистическая функция потерь)
- f. MAE/MAD (Mean Absolute Error, Mean Absolute Deviation) – средний модуль ошибки
- g. MSE/MSD (Mean Squared Error/Deviation) – среднеквадратическая ошибка

10. Выберите и расположите в правильном порядке этапы кросс-валидации (k-fold cross-validation) при оценке аналитической модели:

1. Имеющиеся в наличии данные разбиваются на k частей.
2. Модель обучается на $k-1$ части обучающей выборки. Модель тестируется на части обучающей выборки, которая не участвовала в обучении.
3. Процедура повторяется k раз; в итоге каждая из k частей данных используется для тестирования.
4. Модель обучается на $k-1$ части обучающей выборки. Модель тестируется на $k+1$ части обучающей выборки.
5. Модель обучается на $k+1$ части обучающей выборки. Модель тестируется на $k-1$ части обучающей выборки.
6. Процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто наименьшее значение среднеквадратической ошибки.

8.3. Примеры контрольных работ для текущего контроля освоения дисциплины

1. Решение типовых задач задания (описания) функции принадлежности различными способами и с использованием стандартных форм функций принадлежности.

Вариант 9 (6 баллов)

В результате обобщения экспертных оценок получены нормализованные данные зависимости степени принадлежности от значений переменной универсального множества, представленные в таблице.

x	$\mu(x)$
95	0,3
96	0,4
98	0,5
100	0,6
102	0,7
103	0,8
104	0,9
105	1
106	1

Необходимо:

- определить стандартную форму функции принадлежности, с помощью которой можно описать полученную зависимость. Математически записать выражение функции принадлежности стандартной формы;
- рассчитать оптимальные параметры записанной функции принадлежности: рассчитать коэффициенты аппроксимирующего соотношения и найти ключевые точки (точки излома) функции принадлежности;
- по полученной функции рассчитать значения степени принадлежности в исходных точках. Построить график функции принадлежности и нанести на него исходные данные.

2. Решение типовых задач определения основных свойств нечётких множеств (носителей, точек перехода, срезов, высот) и выполнения операций над нечёткими множествами (объединения, пересечения, алгебраических произведения и суммы, дополнения, концентрации и растяжения).

Вариант 2 (6 баллов)

Для лингвистической переменной «Скорость вращения мешалки» (v , об./мин) заданы нечёткие множества: «Низкая», «Средняя» и «Высокая».

$$\mu_{\text{низкая}} = \begin{cases} \frac{600 - v}{300}, & 300 < v < 600 \\ 1, & v \leq 300 \\ 0, & v \geq 600 \end{cases} \quad \mu_{\text{ср}} = \begin{cases} \frac{v - 400}{300}, & 400 < v < 700 \\ \frac{1100 - v}{300}, & 800 < v < 1100 \\ 0, & v \leq 400 \cup v \geq 1100 \\ 1, & 700 \leq v \leq 800 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{высокая}} = \begin{cases} \frac{v-1000}{200}, & 1000 < v < 1200 \\ 0, & v \leq 1000 \\ 1, & v \geq 1200 \end{cases}$$

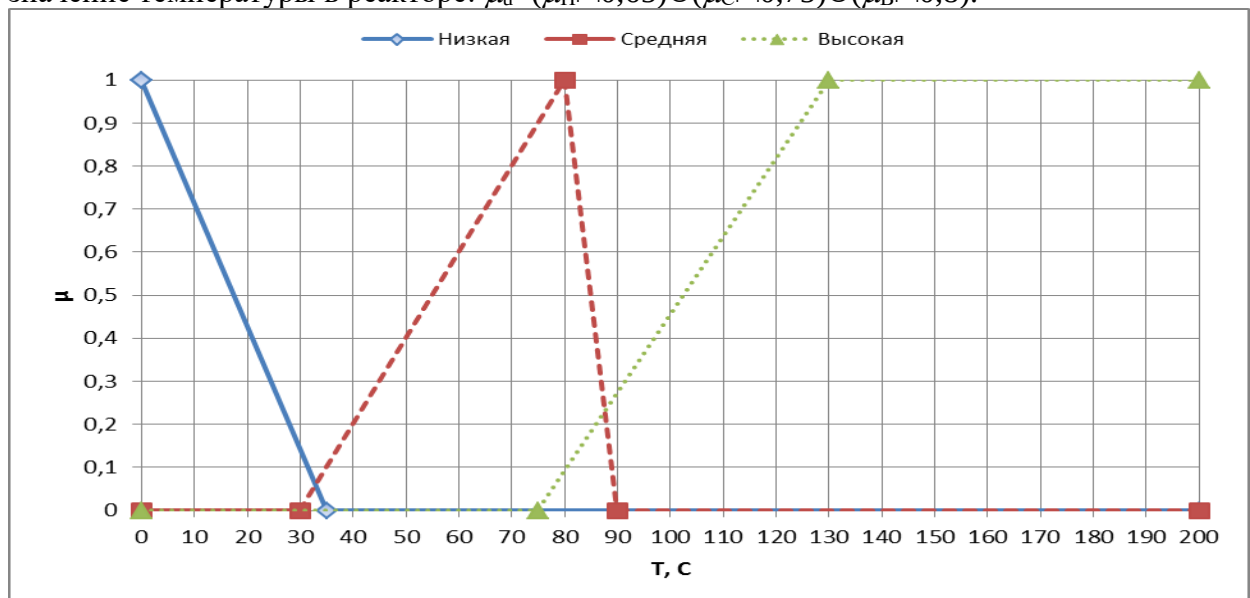
Требуется:

- для каждого из множеств графически задать нормализованные функции принадлежности;
- определить основные свойства каждого из множеств: носители, точки перехода, срезы (при $\alpha=0,5$), высоты;
- определить и записать математически функции принадлежности для объединения, пересечения, алгебраических произведения и суммы двух любых соседних множеств и построить графики их функций принадлежности;
- построить функции дополнения, концентрации и растяжения ($p=3$) каждого из нормализованных нечётких множеств.

3. Решение типовых задач расчёта управляющего воздействия в нечётком регуляторе с использованием различных методов дефаззификации управляющего воздействия (левого, правого и среднего максимумов, центра тяжести, модифицированным методом центра тяжести).

Вариант 13 (6 баллов)

Заданные графически функции принадлежности температуры в реакторе к каждой из категорий («Низкая», «Средняя», «Высокая») описать аналитической зависимостью $\mu(u)$. Выполнить дефаззификацию температуры в реакторе каждым из методов (левого, правого и среднего максимумов, центра тяжести, модифицированным методом центра тяжести ($\alpha=0,4$)), если в результате логического вывода получено следующее нечёткое значение температуры в реакторе: $\mu_0 = (\mu_N \cap 0,65) \cup (\mu_C \cap 0,75) \cup (\mu_B \cap 0,8)$.



8.4. Примеры лабораторных работ для текущего контроля освоения дисциплины

Раздел 3.

Лабораторная работа 1. Синтез и моделирование работы автоматических систем регулирования в задачах управления химико-технологическими процессами на основе нечётких регуляторов. Максимальная оценка – 8 баллов.

Раздел 4.

Лабораторная работа 2. Решение задач прогнозирования и распознавания образов с использованием современных программных средств нейросетевого моделирования. Максимальная оценка – 6 баллов.

Лабораторная работа 3. Разработка и моделирование в среде MATLAB (ППП Neural Network Toolbox и Simulink) автоматических систем регулирования с использованием нейронных сетей прямого распространения. Максимальная оценка – 8 баллов.

Раздел 5.

Лабораторная работа 4. Решение задач оптимизации в химии и химической технологии с использованием эволюционных алгоритмов пакета Genetic Algorithms языка R. Максимальная оценка – 6 баллов.

Типовые задания по лабораторным работам

Лабораторная работа 1. Синтез и моделирование работы автоматических систем регулирования в задачах управления химико-технологическими процессами на основе нечётких регуляторов.

Для технологического процесса производства формалина на рис. 1 представлена его структурная схема как объекта управления качеством. Для данного объекта:

1. Синтезировать систему управления для обеспечения заданной концентрации метанола в формалине:
 - разработать блок-схему САР;
 - синтезировать нечеткий регулятор.
2. Реализовать разработанную САР в с использованием модуля Fuzzy Logic Toolbox программной среды **MATLAB/Simulink**.
3. Провести исследование функционирования разработанной САР:
 - привести краткое описание системы моделирования и основные этапы разработки САР в **MATLAB**;
 - получить результаты моделирования при варьировании параметров системы (вида функций принадлежности, методов дефаззификации);
 - провести сравнительный анализ полученных результатов и определить оптимальную САР.

При анализе технологического процесса производства формалина, как объекта управления качеством определены основные регулируемые, управляющие и возмущающие переменные (рис. 1):

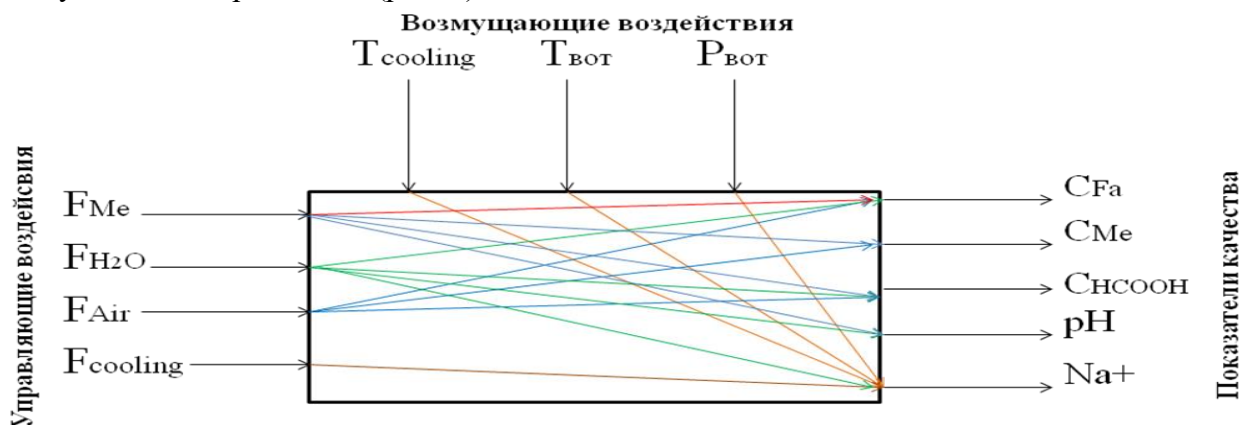


Рис. 1. Структурная схема производства формалина, как объекта управления качеством: F_{Me} – расход метанола, кг/ч; F_{H_2O} – расход воды, кг/ч; F_{Air} – расход воздуха, кг/ч; $F_{cooling}$ – расход охлаждающей воды, кг/ч; $T_{cooling}$ – температура охлаждающей воды, °C; T_{bot} – температура высокотемпературного органического теплоносителя (BOT), °C; P_{bot} – давление высокотемпературного органического теплоносителя (BOT), бар; C_{Fa} – концентрация формалина (содержание формальдегида), %; C_{Me} – концентрация метанола;

C_{HCOOH} – концентрация муравьиной кислоты, %; pH – показатель кислотности; Na^+ – содержание ионов Na, 0-28 Na^+

Основные управляющие воздействия на данном производстве, это: расход метанола (F_{Me}), расход воздуха (F_{Air}) и расход воды (F_{H_2O}). Более подробно влияние управляющих и возмущающих воздействий представлено в табл. 1.

Таблица 1

Влияние управляющих и возмущающих воздействий на показатели качества производства формалина

	C_{FA}	C_{ME}	C_{HCOOH}	pH	Na^+
F_{Me}	+	+	+	+	-
F_{H_2O}	+	-	+	+	+
F_{Air}	+	+	+	-	-
$F_{cooling}$	-	-	-	-	+
$T_{cooling}$	-	-	-	-	+
T_{BOT}	-	-	-	-	+
P_{BOT}	-	-	-	-	+

«+» – влияет; «-» – не влияет

Влияние основных управляющих воздействий на показатели качества:

При увеличении расхода метанола F_{Me} -сильно увеличивается концентрация формалина C_{FA} и концентрация муравьиной кислоты C_{HCOOH} , сильно снижается концентрация метанола C_{ME} и немного увеличивается pH.

При увеличении расхода воды F_{H_2O} сильно снижается концентрация формалина C_{FA} , немного понижается концентрация метанола C_{ME} и концентрация муравьиной кислоты C_{HCOOH} и сильно увеличивается содержание ионов Na^+ .

При увеличении расхода воздуха F_{Air} немного снижается концентрация формалина C_{FA} и концентрация метанола C_{ME} и концентрация муравьиной кислоты C_{HCOOH} .

Таблица 2

Диапазоны пределов значений показателей качества производства формалина

Нормативные значения Показатели качества	Ниже нормы не допустима	Ниже нормы допустима	Норма	Выше нормы допустима	Выше нормы не допустима
Концентрация формалина, %	<52	52-53	53-55	55-56	>56
Концентрация метанола, %	<0,5	0,5-1	<1	1,2-1,5	>1,5
Нормативные значения Показатели качества	Ниже нормы		Норма	Выше нормы	
pH	<3,5		3,5-3,8	3,5-3,8	
Концентрация муравьиной кислоты, %	<0,01		0,01-0,04	<0,04	
Содержание ионов натрия, Na^+	<1		1-28	<28	

Таблица 3

Диапазоны изменений управляющих и возмущающих воздействий

Пределы воздействий Воздействия	Сильно понизить	Немного понизить	Не изменять	Немного повысить	Сильно повысить
Расход метанола	1000-2000	500-1000	0-500	500-1000	1000-2000

Пределы воздействий Воздействия	Сильно понизить	Немного понизить	Не изменять	Немного повысить	Сильно повысить
F_{Me} , кг/ч					
Расход воды F_{H_2O} , кг/ч	300-500	150-300	0-150	150-300	300-500
Расход воздуха F_{Air} , кг/ч	10000- 12000	3000-10000	0-3000	3,000- 10,000	10,000- 12,000
Расход охлаждающей воды $F_{cooling}$, кг/ч	50000- 100000	10000- 50000	0-10000	10000- 50000	50000- 100000
Температура охлаждающей воды $T_{cooling}$, °C	10-15	5-10	0-5	5-10	10-15
Температура теплообменного вещества T_{HTF} , °C	50-100	10-50	0-10	10-50	50-100
Давление теплообменного вещества (ВОТ) P_{HTF} , бар	1-2,0	0,5-1	0-0,5	0,5-1	1-2,0

Лабораторная работа 2. Решение задач прогнозирования и распознавания образов с использованием современных программных средств нейросетевого моделирования

1. Сформировать выборку для обучения искусственной нейронной сети (ИНС) для прогнозирования изменения температуры низа (TIR_0599-1) вакуумной колонны К-10 в зависимости от расхода фракции 350-420°C с установки (FIRCAL0984) и расхода гудрона на АТ-ВБ (FIR32) по данным из режимных листов установки ЭЛОУ-АВТ-6.

2. С использованием программы Loginom Community или языка программирования R обучить нейронную сеть, варьируя параметры обучения сети, а именно:

- структуру сети (число нейронов в скрытом слое);
- скорость обучения;
- условия окончания обучения;

а) 100% распознанных примеров на тестовом и обучающем множестве,

б) средняя ошибка на тестовом и обучающем множестве меньше 0,05 и распознано не менее 80% примеров.

3. С помощью обученной нейронной сети провести расчет технологических параметров и сравнить их с данными из режимных листов (не вошедших в обучающую и тестовую выборки). Построить графики зависимостей точности прогнозирования.

4. Сделать выводы о влиянии параметров обучения ИНС на точность прогнозирования и определить оптимальную структуру и параметры настройки ИНС.

Лабораторная работа 3. Разработка и моделирование в среде MATLAB (ППП Neural Network Toolbox и Simulink) автоматических систем регулирования с использованием нейронных сетей прямого распространения

1. Для объекта управления, рассмотренного в лабораторной работе №3, разработать и провести имитационное моделирование в MATLAB (ППП Neural Network Toolbox и Simulink) следующих систем автоматического регулирования:

– одноконтурных САР по каждому из каналов управления с ПИД-регулятором и моделью объекта управления на основе нейронной сети;

- САР с двумя управляющими воздействиями, ПИД-регуляторами и моделью объекта управления на основе нейронной сети;
- одноконтурных САР по каждому из каналов управления с регулятором на основе нейронной сети и моделью объекта управления в виде передаточной функции;
- САР с двумя управляющими воздействиями, ПИД-регуляторами и моделью объекта управления в виде передаточных функций.

Для обучения и тестирования нейронных сетей использовать выборки из режимных листов установки, сформированные в ходе выполнения работы 3.

2. Провести сравнительный анализ качества регулирования технологического параметра процесса с использованием разработанных САР по значениям динамической, статической ошибок и времени регулирования. Результаты представить в виде сводной таблицы. Выбрать САР, обеспечивающую наилучшее качество регулирования.

Лабораторная работа 4. Решение задач оптимизации в химии и химической технологии с использованием эволюционных алгоритмов пакета Genetic Algorithms языка R.

Производство x т гудрона обходится в $y = 0.5x^2 + 7x + 12$ млн рублей в год. При цене C тыс. рублей за тонну годовая прибыль от продажи этой продукции составляет $Sx - y$. При каком наименьшем значении C суммарная прибыль может составить не менее 86 млн рублей? Решить данную задачу с использованием пакета Genetic Algorithms языка R. Полученное решение проверить ручным расчетом.

8.5. Примерная тематика реферативно-аналитической работы

Максимальная оценка за реферат – 6 баллов.

1. Использование нейронных сетей для решения задач прогнозирования, оптимизации, классификации и управления в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности.
2. Использование регуляторов на основе нечеткой логики для решения задач управления в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности.
3. Управление качеством химической продукции с использованием методов искусственного интеллекта.
4. Использование эволюционных алгоритмов для решения задач оптимизации в химии и химической технологии.
5. Использование методов искусственного интеллекта для решения задач классификации, кластеризации, распознавания образов в химической технологии.
6. Неопределенности в задачах химической технологии: природа, подходы и методы решения на основе искусственного интеллекта.
7. Использование нейросетевых, нечетких логических и нейронечетких моделей и методов решения неформализованных задач химической технологии.
8. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и управления в химии и химической технологии.
9. Моделирование рассуждений. Использование нечетких сетей Петри для решения трудно формализуемых и неформализуемых задач химии и химической технологии в условиях неопределенности.
10. Обзор современных подходов, методов и программных средств для реализации систем интеллектуального анализа данных.
11. Многоагентное программирование. Примеры использования для задач в химической технологии.
12. Методы лингвистического, семантического и синтаксического анализа и обработки информации в интеллектуальных системах.

13. Онтологии и тезаурусы: примеры использования в задачах химической технологии.
14. Современные интеллектуальные системы оперативного управления.
15. Многоагентные системы. Понятие и примеры разработок.
16. Роботизация производства. Основные принципы. Примеры внедрения в России и за рубежом.
17. Искусственные иммунные системы. Понятие. Алгоритм функционирования. Примеры использования.
18. Клеточные автоматы – примеры использования.
19. Использование машинного обучения в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности.
20. Обзор российских и зарубежных компаний, занимающихся разработкой и внедрением методов искусственного интеллекта в промышленности.

8.6. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (экзамен)

Итоговый контроль освоения материала дисциплины проводится в форме экзамена. Билет содержит 4 вопроса. Максимальное количество баллов за экзамен – 40. 1 вопрос – 10 баллов, вопрос 2 – 10 баллов, вопрос 3 – 10 баллов, вопрос 4 – 10 баллов.

1. Искусственный интеллект. Классификация и примеры систем искусственного интеллекта. Классификация и этапы разработки систем, основанных на знаниях.
2. Промышленный интернет и большие данные. Понятия, перспективы и примеры использования в химической технологии.
3. Информационные системы предприятия – источники данных для машинного обучения и использования методов искусственного интеллекта.
4. Стандарты в области искусственного интеллекта. Краткая характеристика.
5. Этика применения искусственного интеллекта. Основные положения.
6. Зарубежные и отечественные программные средства в области искусственного интеллекта.
7. Понятие, классификация и области использования методов машинного обучения. Источники, на которых размещены наборы данных (Dataset) для машинного обучения.
8. Краткая характеристика методов машинного обучения для решения задач регрессионного анализа и понижения размерности данных.
9. Краткая характеристика методов машинного обучения для решения задач классификации и кластеризации.
10. Нечёткая логика. Понятие лингвистической переменной. Сопоставление значений лингвистической переменной с реальными данными. Фаззификация.
11. Нечёткая логика. Универсальное множество. Нечёткое множество. Нечёткое подмножество. Степень принадлежности.
12. Нечёткая логика. Функция принадлежности. Способы описания функции принадлежности.
13. Обобщение нечётких экспертных оценок с целью получения вида функций принадлежности.
14. Аппроксимация экспертных оценок стандартными формами функции принадлежности как задача оптимизации.
15. Нечёткая логика. Функция принадлежности. Стандартные формы функции принадлежности.
16. Нечёткая логика. Нечёткие множества. Свойства нечётких множеств.
17. Нечёткая логика. Нечёткие множества. Операции с нечёткими множествами.
18. Основные этапы нечеткого логического вывода.
19. Нечёткие алгоритмы. Принятие решений на основе нечётких алгоритмов.

20. Предпосылки и общие принципы построения интеллектуальных систем управления на основе нечёткой логики.
21. Блок-схема нечёткого регулятора. Этапы формирования управляющих воздействий.
22. Дефаззификация. Методы дефаззификации.
23. Нечёткий регулятор: постановка задачи, алгоритм расчёта управляющего воздействия по отклонению значения регулируемой переменной от уставки.
24. Примеры и назначение систем управления с традиционными и нечёткими регуляторами.
25. Искусственные нейронные сети. Понятие, свойства, преимущества использования и области применения.
26. Классы задач, решаемых с использованием искусственных нейронных сетей. Структура искусственного нейрона. Обработка сигналов в искусственном нейроне.
27. Функция активации. Виды функции активации. Свойства функции с насыщением. Нормирование обучающей выборки: способы, обоснование необходимости.
28. Обучающая и тестовая выборки: назначение, формирование, предварительная обработка данных. Сложность структуры нейронной сети. Проблема соотношения структуры нейронной сети и объёма обучающей выборки.
29. Классификация нейронных сетей. Назначение, преимущества и недостатки архитектур нейронных сетей.
30. Способы обучения нейронных сетей. Факторы, влияющие на обучение.
31. Этапы работы с искусственной нейронной сетью.
32. Обучение искусственных нейронных сетей как задача оптимизации. Обучение с учителем однослойной нейронной сети.
33. Алгоритм обратного распространения ошибки.
34. Обучение нейронных сетей без учителя. Кластеризация образцов. Правила Хебба, Ойа, Кохонена.
35. Рекуррентные нейронные сети. Архитектуры. Алгоритм обучения.
36. Релаксационные сети. Архитектура, характеристика, алгоритм функционирования сети Хопфилда.
37. Релаксационные сети. Архитектура, характеристика, алгоритм функционирования сети Хэмминга.
38. Нейронные сети адаптивного резонанса. Структура и алгоритм обучения и функционирования сети ART1.
39. Нейронные сети адаптивного резонанса. Структура и алгоритм обучения и функционирования сетей ART2 и ART2-модифицированная.
40. Примеры использования нейронных сетей в интеллектуальных системах управления.
41. Эволюционные алгоритмы. Представление генетической информации у животных и человека. Представление данных в генетических алгоритмах.
42. Бинарные генетические алгоритмы. Переход от вещественного представления к двоичному. Код Грея.
43. Бинарные генетические алгоритмы: простые и модифицированные генетические операторы.
44. Стратегии бинарных генетических алгоритмов. Взаимосвязи стратегий и условия их использования.
45. Генетические алгоритмы вещественного кодирования: структура хромосомы, постановка задачи, простые и модифицированные генетические операторы.

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

8.7. Структура и примеры экзаменационных билетов

Экзамен по дисциплине «Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по разделам рабочей программы дисциплины. Билет для экзамена включает 3 теоретических и одно практическое задание. Ответы на вопросы экзамена оцениваются из максимальной оценки 40 баллов следующим образом: максимальное количество баллов за первый вопрос – 10 баллов, второй – 10 баллов, третий – 10 баллов, четвертый – 10 баллов.

Пример билета для экзамена.

«Утверждаю» Зав. каф. КХТП (Должность, название кафедры) Глебов М.Б. (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	Министерство науки и высшего образования РФ
	Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
	Кафедра кибернетики химико-технологических процессов 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии Магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий» Дисциплина «Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами»

Билет № 1

- Основные этапы нечеткого логического вывода.
- Обучающая и тестовая выборки: назначение, формирование, предварительная обработка данных. Сложность структуры нейронной сети. Проблема соотношения структуры нейронной сети и объёма обучающей выборки.
- Бинарные генетические алгоритмы: простые и модифицированные генетические операторы.
- Заданные аналитически зависимости нормализованных функций принадлежности представить в графическом виде. Определить основные свойства каждого из множеств: носители, точки перехода, срезы (при $\alpha=0,26$). Построить функции дополнения каждого из нечётких множеств.

$$\mu_1 = \begin{cases} -0,05x^2 + 0,15x + 0,9, & 2 < x < 6 \\ 0, & x \geq 6 \\ 1, & x \leq 2 \end{cases}$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 0,133x^2 - 1,4x + 3,666, & 5 < x < 8 \\ 0,133x^2 - 3,666x + 25,2, & 11 < x < 14 \\ 0, & x \leq 5 \cup x \geq 14 \\ 1, & 8 \leq x \leq 11 \end{cases}$$

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

- Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети : учебник для вузов / В. С. Ростовцев. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50568-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/447392> (дата обращения: 14.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Анализ данных : учебник для вузов / В. С. Мхитарян [и др.] ; под редакцией

В. С. Мхитаряна. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 490 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00616-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/469022> (дата обращения: 15.04.2025).

Б) Дополнительная литература:

1. Дударов С. П., Папаев П. Л. Теоретические основы и практическое применение искусственных нейронных сетей [Текст] : учебное пособие. — М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. — 103 с. (разделы 1-12, 15 (81 с.))

2. Химическая и биологическая безопасность: модели, методы и интеллектуальные системы управления безопасностью: учеб. пособие / А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, П. Г. Михайлова, С. А. Лёвушкина. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. — 220 с. (подраздел 4.1 (22 с.))

3. Дударов С. П. Математические основы генетических алгоритмов [Текст] : учебное пособие. — М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012. — 55 с.

4. Дорохов И. Н., Меньшиков В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств, М.: Наука, 2005. — 584 с.

5. Воронов, М. В. Системы искусственного интеллекта : учебник и практикум для вузов / М. В. Воронов, В. И. Пименов, И. А. Небаев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 268 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-17032-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/544161> (дата обращения: 20.01.2025).

6. Станкевич, Л. А. Интеллектуальные системы и технологии : учебник и практикум для вузов / Л. А. Станкевич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 478 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20363-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/558009> (дата обращения: 20.05.2025).

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

Научно-технические журналы:

— Интеллектуальные системы в производстве. ISSN печатной версии – 1813-7911, ISSN онлайн-версии – 2410-9304;

— Интеллектуальные системы. Теория и приложения (Интеллектуальные системы (до 2014 года)); ISSN печатной версии – 2411-4448

— Искусственный интеллект и принятие решений. ISSN печатной версии – 2071-8594;

— Информационные технологии в проектировании и производстве. ISSN печатной версии – 2073-2597;

— Artificial intelligence. ISSN печатной версии – 0004-3702, ISSN онлайн-версии – 1872-7921;

— Engineering applications of artificial intelligence. ISSN печатной версии – 0952-1976, ISSN онлайн-версии – 1873-6769.

— Нейрокомпьютеры: разработка, применение. ISSN печатной версии – 1999-8554.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет:

— Национальный портал в сфере Искусственного интеллекта (ИИ) и применения нейросетей в России [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ai.gov.ru/> (дата обращения: 17.04.2025).

— BaseGroup Labs. Технологии анализа данных [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://basegroup.ru/> (дата обращения: 17.04.2025).

- Центр Инженерных Технологий и Моделирования. Экспонента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://exponenta.ru/> (дата обращения: 17.04.2025).
- Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kaggle.com/> (дата обращения: 17.04.2025).
- TensorFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/> (дата обращения: 17.04.2025).
- [Google Dataset Search](https://datasetsearch.research.google.com/) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datasetsearch.research.google.com/> (дата обращения: 17.04.2025).
- GitHub [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/orgs/datasets/repositories> (дата обращения: 17.04.2025).

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

Подготовлены:

- компьютерные презентации лекций по отдельным разделам дисциплины;
- варианты заданий для выполнения лабораторных работ, направленных на приобретение студентами навыков использования современных программных средств для реализации искусственных нейронных сетей, нечетких логических моделей, генетических алгоритмов для решения задач прогнозирования, классификации, оптимизации и управления в условиях неопределенности химико-технологическими процессами, системами и предприятиями в целом.

Указанные информационно-образовательные ресурсы размещены на учебном портале РХТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://study.muctr.ru/course/view.php?id=207> (дата обращения: 25.04.2025).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн с использованием LMS Moodle, включая обмен сообщениями, новостной форум и др.

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 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 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 *«Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами»* проводятся в форме лекций, практических, лабораторных занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеется 1 компьютерный класс с 13 компьютерами, объединенными в локальную сеть с выходом в Интернет, и одним принтером.

Для проведения практических занятий по дисциплине имеются: учебная аудитория, оборудованная мультимедийным оборудованием.

11.2. Учебно-наглядные пособия

Фрагменты технологических регламентов производств, режимные листы установок.

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

На кафедре КХТП для проведения практических занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях или при проведении лабораторных работ на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки.

Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

Презентации лекций по разделам дисциплины.

Информационно-образовательные, информационно-методические, учебно-исследовательские ресурсы представлены на учебном портале РХТУ им. Д.И. Менделеева.

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1.	Среда разработки Simulink Control Design Classroom new Product From 25 to 49 Concurrent Licenses (per License)	Контракт № 143-164ЭА/2010 от 14.12.10	20 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная
2.	MATLAB Classroom Suite new Product From 25 to 49 Concurrent Licenses (per License)	Контракт № 143-164ЭА/2010 от 14.12.10	20 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная
3.	Fuzzy Logic	Контракт № 143-164ЭА/2010	25	бессрочная

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
	Toolbox Classroom new Product From 25 to 49 Concurrent Licenses (per License)	от 14.12.10	лицензий для активации на рабочих станциях	
4.	Loginom Community – аналитическая low-code платформа	Доступна на сайте разработчика по ссылке https://loginom.ru/download	-	Бесплатная образовательная версия
5.	Язык программирования R	Текущая версия и пакеты расширения доступны на сайте разработчика по ссылке: https://cran.rstudio.com/	-	Свободно распространяемое программное обеспечение
6.	Среда разработки RStudio	Распространяется под лицензией GNU GPL. Текущая версия доступна на сайте разработчика по ссылке: https://posit.co/download/rstudio-desktop/	-	Бесплатная версия
7.	Microsoft Office Standard 2019 В составе: • Word • Excel • Power Point • Outlook	Контракт №175- 262ЭА/2019 от 30.12.2019	13 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Системы искусственного интеллекта	Знает: основные понятия, классификации и области применения систем искусственного интеллекта для решения неформализованных задач химической технологии; зарубежные и отечественные программные средства в области искусственного интеллекта: языки программирования (Python, R и др.), пакеты программ (Loginom Community Edition, TensorFlow, Keras, Deep Learning Toolbox (ранее Neural Network Toolbox), Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB) и др. Умеет: формулировать постановки задач моделирования, прогнозирования, оптимизации и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности	Оценка за тест. Оценка за реферат. Оценка на экзамене.
Раздел 2. Методы машинного	Знает: методы машинного обучения; источники, на которых размещены наборы данных для	Оценка за тест. Оценка за

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
обучения	машинного обучения (Google, TensorFlow, GitHub, Kaggle). Умеет: формировать обучающие и тестовые выборки для решения различных задач с использованием методов машинного обучения	самостоятельную работу. Оценка на экзамене.
Раздел 3. Построение систем искусственного интеллекта на основе теории нечётких множеств	Знает: основные понятия теории нечетких множеств. Основные свойства и операции над нечёткими множествами. Нечеткие модели: структура, основные элементы и операции в нечетких моделях. Общие принципы построения нечётких систем управления. Умеет: формулировать постановки задач моделирования, прогнозирования и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием теории искусственного интеллекта. Разрабатывать нечеткие логические модели для решения задач планирования и управления химико-технологическими процессами и системами. Владеет: навыками использования современных программных средств (Fuzzy Logic Toolbox (MATLAB)), для реализации нечетких логических моделей для решения задач химической технологии	Оценки за контрольные работы №1, 2, 3. Оценки за лабораторную работу № 1 Оценка за реферат. Оценка на экзамене.
Раздел 4. Использование искусственных нейронных сетей (ИНС) для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления в химической технологии	Знает: теоретические основы искусственных нейронных сетей, структуры ИНС, алгоритмы обучения, области применения. Умеет: формулировать постановки задач моделирования, прогнозирования, оптимизации и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием теории искусственного интеллекта. Разрабатывать структуры нейронных сетей с использованием онлайн-программного обеспечения Diagrams.net для решения задач прогнозирования, оптимизации и управления химической технологии и проводить исследования объекта с использованием нейросетевых методов моделирования. Формировать обучающие и тестовые выборки для обучения нейронных сетей, в том числе, с использованием Microsoft Excel. Владеет: навыками использования современных программных средств для реализации нейросетевых и нейронечетких моделей для решения задач химической технологии	Оценки за лабораторные работы № 2, 3. Оценка за реферат. Оценка на экзамене.

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	(Loginom, Deep Learning Toolbox (ранее Neural Network Toolbox (MATLAB)))	
Раздел 5. Методы искусственного интеллекта, основанные на имитации физических и биологических процессов	Знает: теоретические методы искусственного интеллекта, основанные на имитации физических и биологических процессов, для решения задач оптимизации в химии и химической технологии и управлении химико-технологическими процессами. Умеет: формулировать постановки задач моделирования, и оптимизации объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием теории искусственного интеллекта. Применять эволюционные алгоритмы решения задач оптимизации в химии и химической технологии. Владеет: навыками использования современных программных средств (пакет Genetic Algorithms языка R) для реализации генетических алгоритмов для решения задач химической технологии	Оценки за лабораторную работу № 4. Оценка за реферат. Оценка на экзамене.

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 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 в РХТУ им. Д.И. Менделеева, принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 30.10.2019, протокол № 3, введенным в действие приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.11.2019 № 646А;

- 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
«Методы искусственного интеллекта в управлении химическими производствами»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки
 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
 нефтехимии и биотехнологии»
 Магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»

Форма обучения: очная

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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Экспертные системы в химии и химической технологии»

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена

к.т.н., доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов

П.Г. Михайловой

д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов

Т.В. Савицкой

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов «12» мая 2025 г., протокол № 8.

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 кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина *«Экспертные системы в химии и химической технологии»* относится к вариативной части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» дисциплин учебного плана и является дисциплиной по выбору студента.

Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области: «Вычислительная математика», «Высшая математика», «Методы кибернетики химико-технологических процессов», «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», а также на знаниях, полученных при изучении дисциплин подготовки магистрантов: «Инженерное творчество и инновационный менеджмент в химии и химической технологии», «Компьютерные системы проектирования и управления химическими производствами».

Цель дисциплины – научить магистрантов теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам создания и использования экспертных систем для решения задач проектирования, планирования, прогнозирования, диагностики и управления химическими производствами.

Задачи дисциплины:

- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам использования методов искусственного интеллекта на основе экспертных систем для решения неформализованных задач в химической технологии;
- обучение теоретическим основам создания и организации экспертных систем для решения задач проектирования, планирования, прогнозирования, диагностики и управления в химической технологии;
- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам разработки моделей представления знаний в экспертных системах;
- обучение теоретическим знаниям и практическим умениям и навыкам разработки экспертных обучающих систем и элементов тренажёрных обучающих комплексов для управления химико-технологическими процессами, системами и химическими предприятиями.

Дисциплина *«Экспертные системы в химии и химической технологии»* преподаётся во 2-м 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	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 – 6)
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-	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	ПК-3.2 Умеет использовать модели для описания и прогнозирования параметров технологических процессов	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.
			ПК-3.3 Владеет методами оценки технологических процессов с позиции эффективного использования материальных и энергетических ресурсов и обеспечения безопасности в области профессиональной	

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
	конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).		деятельности	С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
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-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	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 – 6)

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

Знать:

- основные понятия, классификации и области применения экспертных систем для решения неформализованных задач химической технологии;
- теоретические основы создания и организации экспертных систем для решения задач проектирования, планирования, прогнозирования, диагностики и управления в химической технологии;
- модели представления знаний в экспертных системах;
- механизмы логического вывода в экспертных системах;
- методы и алгоритмы принятия решений в задачах проектирования, планирования и управления химико-технологическими процессами и производствами с использованием экспертных систем;
- методы и подходы к созданию экспертных обучающих систем и тренажерных комплексов для управления химико-технологическими процессами, системами и химическими предприятиями.

Уметь:

- формулировать постановки задач проектирования, прогнозирования, планирования, оптимизации и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием экспертных систем;
- разрабатывать базы правил и базы знаний для создания экспертных систем в химической технологии;
- разрабатывать алгоритмы логического вывода в экспертных системах.

Владеть:

- навыками использования современных оболочек экспертных систем для решения задач поддержки принятия решений и управления в химической технологии.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	4	144	108
Контактная работа – аудиторные занятия:	1.42	51	38.25
Лекции	0.47	17	12.75
Практические занятия (ПЗ)	0.95	34	25.5
Самостоятельная работа	2.58	93	69.75
Контактная самостоятельная работа	2.58	0.4	0.3
Подготовка к контрольным работам		15	11.25
Реферат		22	16.5
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		55.6	41.7
Вид итогового контроля:	Зачет с оценкой		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий для магистров

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
	Введение	2,5	0,5	-	2
1.	Раздел 1. Принципы построения экспертных систем	13	3	-	10
1.1	Экспертные системы. Понятие и классификация экспертных систем. Типовая структура и пользователи экспертной системы.	7	2	-	5
1.2	Этапы и средства построения экспертных систем.	6	1	-	5
2	Раздел 2. Модели представления знаний в экспертных системах	18	2	-	16
2.1.	Требования к представлению знаний в экспертных системах	5,5	0,5	-	5
2.2.	Классификация моделей представления знаний в системах искусственного интеллекта	6,5	0,5	-	6
2.3.	Методы сбора экспертных знаний и обработки экспертных оценок в процессе группового принятия решений. Требования к экспертам. Стратегии получения знаний. Структурирование знаний	6	1	-	5
3.	Раздел 3. Логические модели в системах, основанных на знаниях	35,5	4,5	12	19
3.1.	Логика и логическое управление. Функции, аксиомы и теоремы (законы) алгебры логики	15	2	6	7
3.2.	Таблица состояний и таблица истинности. Построение дерева смены состояний химико-технологической системы	6,5	0,5	2	4
3.3.	Логические и логико-	6,5	0,5	2	4

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
	лингвистические модели представления знаний. Логические схемы				
3.4.	Исчисление предикатов	4	1	1	2
3.5.	Правила вывода в логических моделях	3,5	0,5	1	2
4	Раздел 4. Сетевые структурно-лингвистические модели представления знаний	21	2	8	11
4.1.	Семантические сети. Основные понятия, классификация, типы отношений. Логический вывод в семантических сетях	8	1	4	3
4.2.	Онтологии: понятия, типы отношений, базовая методология создания	9,5	0,5	4	5
4.3.	Нечеткие сети Петри	3,5	0,5	-	3
5	Раздел 5. Фреймовые модели представления знаний об объектах химической технологии	17	2	4	11
5.1.	Понятие и классификация фреймов. Способы представления	8,5	1,5	3	4
5.2.	Иерархическая структура фреймов. Множественное наследование. Процедуры логического вывода решений с использованием моделей на основе фреймов	8,5	0,5	1	7
6	Раздел 6. Продукционные правила, модели и системы представления знаний	26	2	10	14
6.1.	Алгоритм формирования рабочего набора продукционных правил, проверка на противоречивость и избыточность	7	1	-	6
6.2.	Вывод в продукционных системах: прямой и обратный вывод, поиск в	19	1	10	8

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
	глубину и ширину. Процедура вывода решений на основе продукционных моделей представления знаний на примерах задач классификации, выбора, и управления в химической технологии				
7	Раздел 7. Экспертные обучающие системы и тренажёрные комплексы в химической технологии	11	1	-	10
7.1.	Экспертные обучающие системы (ЭОС)	5,5	0,5		5
7.2.	Компьютерные тренажёрные обучающие комплексы (ТОК)	5,5	0,5	-	5
	Всего	144	17	34	93

4.2. Содержание разделов дисциплины

Введение. Цель и задачи курса. Краткий исторический очерк развития методов искусственного интеллекта, основанных на знаниях.

Раздел 1. Принципы построения экспертных систем.

1.1. Экспертные системы. Понятие и классификация экспертных систем. Типовая структура и пользователи экспертной системы.

1.2. Этапы и средства построения экспертных систем. Стандартные оболочки для создания экспертных систем. Примеры использования экспертных систем для решения задач планирования, прогнозирования, диагностики и управления в химической технологии.

Раздел 2. Модели представления знаний в экспертных системах

2.1. Требования к представлению знаний в экспертных системах.

2.2. Классификация моделей представления знаний в системах искусственного интеллекта.

2.3. Методы сбора экспертных знаний и обработки экспертных оценок в процессе группового принятия решений. Требования к экспертам. Стратегии получения знаний. Структурирование знаний.

Раздел 3. Логические модели в системах, основанных на знаниях

3.1. Логика и логическое управление. Функции, аксиомы и теоремы (законы) алгебры логики.

3.2. Таблица состояний и таблица истинности. Построение дерева смены состояний химико-технологической системы.

3.3. Логические и логико-лингвистические модели представления знаний. Логические схемы.

3.4. Исчисление предикатов.

3.5. Правила вывода в логических моделях.

Раздел 4. Сетевые структурно-лингвистические модели представления знаний.

4.1. Семантические сети. Основные понятия, классификация, типы отношений.

Логический вывод в семантических сетях.

4.2. Онтологии: понятия, типы отношений, базовая методология создания.

4.3. Нечеткие сети Петри.

Раздел 5. Фреймовые модели представления знаний об объектах химической технологии.

5.1. Понятие и классификация фреймов. Способы представления.

5.2. Иерархическая структура фреймов. Множественное наследование. Процедуры логического вывода решений с использованием моделей на основе фреймов.

Раздел 6. Продукционные правила, модели и системы представления знаний.

6.1. Алгоритм формирования рабочего набора продукционных правил, проверка на противоречивость и избыточность.

6.2. Вывод в продукционных системах: прямой и обратный вывод, поиск в глубину и ширину. Процедура вывода решений на основе продукционных моделей представления знаний на примерах задач классификации, выбора, и управления в химической технологии.

Раздел 7. Экспертные обучающие системы и тренажёрные комплексы в химической технологии

7.1. Экспертные обучающие системы (ЭОС). Структура ЭОС. Базы знаний в ЭОС.

7.2. Компьютерные тренажерные обучающие комплексы (ТОК). Функциональная структура. Структура математического обеспечения модульного тренажера.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7
	Знать:							
1	основные понятия, классификации и области применения экспертных систем для решения неформализованных задач химической технологии;	+						
2	теоретические основы создания и организации экспертных систем для решения задач проектирования, планирования, прогнозирования, диагностики и управления в химической технологии;	+	+					
3	модели представления знаний в экспертных системах;		+	+	+	+	+	
4	механизмы логического вывода в экспертных системах;			+	+	+	+	
5	методы и алгоритмы принятия решений в задачах проектирования, планирования и управления химико-технологическими процессами и производствами с использованием экспертных систем;			+	+	+	+	
6	методы и подходы к созданию экспертных обучающих систем и тренажерных комплексов для управления химико-технологическими процессами, системами и химическими предприятиями.							+
	Уметь:							
7	формулировать постановки задач проектирования, прогнозирования, планирования, оптимизации и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием экспертных систем;	+						
8	разрабатывать базы правил и базы знаний для создания экспертных систем в химической технологии;			+	+	+	+	
9	разрабатывать алгоритмы логического вывода в экспертных системах.			+	+	+	+	
	Владеть:							
10	навыками использования современных оболочек экспертных систем для решения задач поддержки принятия решений и управления в химической технологии.				+	+	+	

№	В результате освоения дисциплины студент должен:		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:									
	Код и наименование ПК (перечень из п.2)	Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)							
11	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	+	+	+	+	+
12	ПК-3. Способен к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго- и ресурсосбережения	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		+	+	+	+	+	
13	ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий		+	+	+	+	+	+
		ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств		+	+	+	+	+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

Примерные темы практических занятий по дисциплине

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1.	3.1	Разработка логических моделей (функций) представления знаний для решения задач планирования и управления химико-технологическими процессами и системами. Использование аксиом и теорем алгебры логики для преобразования логических функций	6
2.	3.2-3.3	Решение задач построения логической схемы по логической функции, логической функции по логической схеме, логической функции по таблице истинности	4
3.	3.4, 3.5	Использование логики предикатов для разработки логической модели процесса взаимодействия аппаратов периодического действия	2
4.	4.1	Представление знаний о технологических процессах, о типовом оборудовании химических производств с использованием семантических сетей	4
5.	4.2	Представление знаний о типовом оборудовании химических производств с использованием онтологий	4
6.	5.1, 5.2	Представление знаний о технологических процессах, о типовом оборудовании химических производств с использованием фреймов	4
7.	6.2	Составление продукционных правил и продукционных моделей представления знаний для принятия решений по управлению технологическими процессами в заданном технологическом регламенте, предаварийном и аварийном режимах	4
8.	6.2	Изучение функциональных возможностей стандартных оболочек экспертных систем для решения задач планирования и управления химико-технологическими процессами и химическими производствами	6
		ИТОГО	34

6.2. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия не предусмотрены.

9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студента в объёме 93 часов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку к контрольным работам;
- написание реферата;

– ознакомление и проработку рекомендованной литературы, и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;

– посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня;

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

По дисциплине «Экспертные системы в химии и химической технологии» предусмотрены следующие баллы текущего контроля освоения дисциплины:

- Контрольная работа №1 (раздел 3) – 12 баллов;
- Контрольная работа №2 (раздел 3) – 12 баллов;
- Контрольная работа №3 (раздел 4,5) – 12 баллов;
- Контрольная работа №4 (раздел 6) – 14 баллов;
- Реферат – 10 баллов.

8.1. Примеры контрольных работ для текущего контроля освоения дисциплины

1. Решение типовых задач на формирование набора возможных состояний химико-технологической системы в виде таблицы состояний, построение дерева смены состояний химико-технологической системы и соответствующей таблицы истинности.

Максимальная оценка контрольной работы – 12 баллов.

Вариант 1.

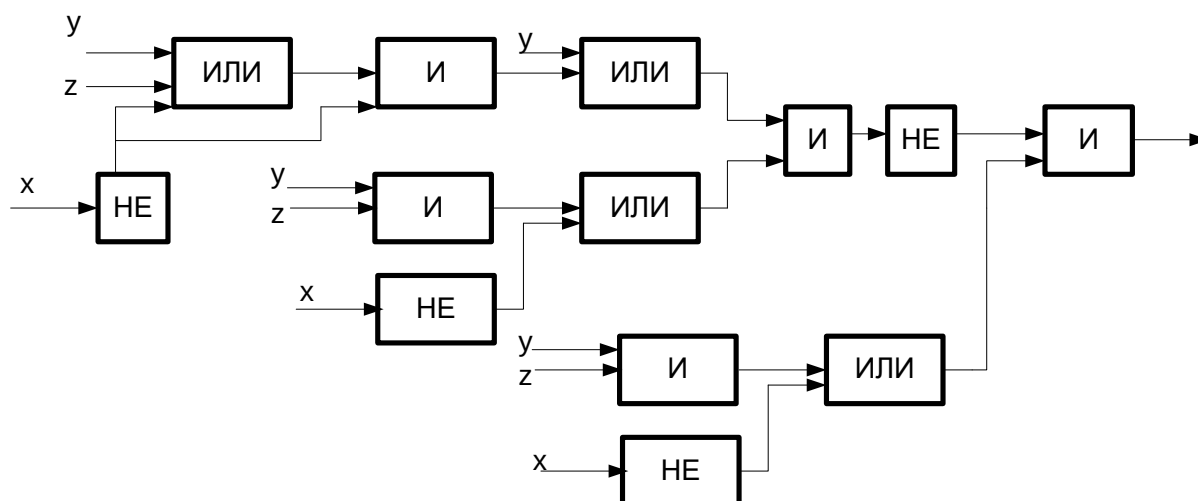
Сформировать набор возможных состояний системы, состоящей из одного продукта, обрабатываемого последовательно на двух аппаратах, и склада для хранения сырья и готовой продукции. Составить перечень возможных действий для перехода между состояниями системы. Построить таблицу истинности и дерево переходов между состояниями. Определить исходное и целевое состояния системы.

2. Решение типовых задач построения логических зависимостей по логическим схемам (и обратной задачи), таблицам истинности. Использование аксиом и теорем алгебры логики для упрощения логических зависимостей.

Максимальная оценка контрольной работы – 12 баллов.

Вариант 5

Для заданной логической схемы записать функциональную зависимость от трёх логических переменных и построить таблицу истинности. С использованием аксиом и теорем алгебры логики упростить полученную функцию, построить для неё логическую схему и проверить её правильность с помощью таблицы истинности.



3. Решение типовых задач использования семантических сетей и фреймов для представления знаний о технологических процессах, о типовом оборудовании химических производств.

Максимальная оценка контрольной работы – 12 баллов.

ВАРИАНТ 3

Модели представления знаний: фреймы и семантические сети.

Представить знаний о технологическом процессе осаждения сульфида меди и удаления из реакционной массы избыточного аммиака (стадия ТП-3.2), заданные технологическим регламентом:

- в виде семантической сети (технологический процесс);
- в виде фреймов

ТП-3.2. Осаждение сульфида меди и удаление из реакционной массы избыточного аммиака

Аммонийная соль 6-аминовератровой кислоты – соединение нестойкое и в присутствии аммиака меди быстро окисляется кислородом воздуха, поэтому к реакционной массе сразу после окончания процесса добавляют сульфид натрия для перевода меди в осадок в виде сульфида в аппарате Р-33.

Расход сульфида натрия 1 моль на 1 моль загруженной меди. При отсутствии меди в растворе, реакционную массу переносят в аппарат Р-34 и через холодильник Т-35 и две ловушки Сб-39 (пустая) и Сб-40 (с водой) удаляют избыток аммиака при $P_{ост}$ 20 кПа и 23 °С в течение 2 ч, после чего отключают ловушки, дают холодную воду в холодильник Т-35, горячую воду в рубашку аппарата Р-34, в системе создают $P_{ост}$ 15-20 кПа и при температуре в массе 63 ± 2 °С отгоняют часть воды в Сб-36. Подъем температуры при отгонке воды выше 65 °С снижает выход «Фенилмочевины». Охлаждающуюся реакционную массу пуском холодной воды в рубашку аппарата до 23 °С и сульфид меди отфильтровывают на фильтре Ф-41. Осадок промывают водой через аппарат и отправляют на обезвреживание. Фильтрат направляют на ТП-3.3 в аппарат Р-44.

4. Решение типовых задач составления систем продукционных правил и продукционных моделей представления знаний по управлению технологическими процессами в заданном технологическом регламенте режиме с целью получения целевого продукта заданного качества, предаварийном и аварийном режимах.

Максимальная оценка контрольной работы – 14 баллов.

ВАРИАНТ 4

Модели представления знаний: продукционные. Составить систему

производственных правил и записать производственную модель представления знаний по управлению технологическим процессом получения хлорангидрида пироксалиевой кислоты (стадия ТП-8.1) в заданном технологическом регламенте режиме с целью получения целевого продукта заданного качества.

ТП-8.1. Получение хлорангидрида пироксалиевой кислоты

Хлорангидрид пироксалиевой кислоты получают взаимодействием пироксалиевой кислоты с хлористым тионом в присутствии катализатора – диметилформамида. Соотношение реагентов: 1,3 моль тионил хлористого на 1 моль пироксалиевой кислоты.

Реакция получения хлорангидрида проходит с выделением больших количеств кислых газов, что ведет к вспениванию реакционной массы. Вследствие этого коэффициент заполнения аппарата не должен превышать 0,5. Во избежание вспенивания и выброса реакционной массы проводят медленное, в течение 2 ч, нагревание реакционной массы до температуры 80 ± 5 °С, при которой завершается процесс.

В аппарат Р-83 с двумя поглотительными ловушками, одна из которых Л-84а – пустая, другая Л-84б заполнена водой, загружают из аппарата Р-254 толуольный раствор пироксалиевой кислоты, из мерника М-86 – диметилформамид. Подают воду в рубашку аппарата Р-83 и на обратный холодильник Т-85 и перемешивают реакционную массу при температуре около 20 °С в течение 20 мин, затем при этой же температуре из мерника М-87 в течение 30 мин прибавляют тионил хлористый так, чтобы температура в массе не поднималась выше 20 °С.

По окончании прибавления прекращают подачу охлажденной воды в рубашку аппарата и нагревают массу подачей паро-водяной смеси в рубашку аппарата до температуры 85 °С со скоростью подъема температуры 0,5 °С в мин в течение 2 ч. При температуре 83 ± 5 °С дают выдержку при перемешивании в течение 4 ч.

По окончании выдержки прекращают внешний обогрев, пуском воды в рубашку аппарата охлаждают массу до температуры 20 ± 5 °С. Мешалку останавливают и отбирают пробу для определения конца реакции.

Хлорангидрид пироксалиевой кислоты – сильный лакриматор!

Реакция считается законченной, если в реакционной массе содержание пироксалиевой кислоты не превышает 0,2 %.

8.2. Примерная тематика реферативно-аналитической работы

Максимальная оценка – 10 баллов.

1. Использование экспертных систем в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности для решения задач планирования.
2. Обзор современных средств разработки экспертных систем.
3. Обзор современных программных средств, реализующих методы искусственного интеллекта.
4. Обзор современных подходов, методов и оболочек для реализации тренажерных обучающих комплексов и экспертных обучающих систем.
5. Использование экспертных систем в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности для решения задач управления.
6. Современное состояние в области разработки промышленных тренажеров для подготовки операторов-технологов (химическая и смежные отрасли промышленности).
7. Использование интеллектуальных систем для диагностики и прогнозирования аварийных ситуаций на предприятиях.
8. Примеры использования семантических сетей для представления знаний об объектах химической технологии.

9. Примеры использования фреймов для представления знаний об объектах химической технологии.
10. Примеры практического использования экспертных обучающих систем в профессиональном образовании.
11. Примеры использования логики предикатов для представления знаний и построения экспертных систем в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности.
12. Обзор интеллектуальных систем автоматизированного проектирования технологических процессов и систем.
13. Системы интеллектуального мониторинга в промышленности.
14. Обзор интеллектуальных систем контроля сложных технологических процессов.
15. Архитектура и примеры гибридных экспертных систем.
16. Примеры экспертных систем поддержки принятия решений в химической и смежных отраслях промышленности.
17. Деревья принятия решений. Понятие. Классификация. Программное обеспечение. Примеры использования в химической и смежных отраслях промышленности.
18. Системы обработки естественного языка.
19. Обзор методов моделирования рассуждений.
20. Нейлоровские диагностирующие системы. Примеры.
21. Обзор экспертных систем на основе байесовского подхода.
22. Статические, квазидинамические и динамические экспертные системы в химии и химической технологии.
23. Миварный подход к разработке экспертных систем.
24. Таксономические экспертные системы.

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (Зачет с оценкой)

Итоговый контроль освоения материала дисциплины проводится в форме зачета с оценкой. Билет содержит три практических задания. Максимальная оценка за задание 1 – 13 баллов, за задание 2 – 13 баллов, за задание 3 – 14 баллов. Максимальная оценка за ответ на зачете – 40 баллов.

Для каждого задания приводится фрагмент технологического регламента, плана локализации и ликвидации аварийных ситуаций или описание типового оборудования химических производств.

1. Модели представления знаний: семантические сети. Использование семантической сети для представления знаний о типовом оборудовании химических производств (по заданию преподавателя).

2. Модели представления знаний: семантические сети. Использование семантической сети для представления знаний о технологическом процессе (по заданию преподавателя).

3. Модели представления знаний: фреймы. Использование фреймов для представления знаний о типовом оборудовании химических производств (по заданию преподавателя).

4. Модели представления знаний: фреймы. Использование фреймов для представления знаний о технологическом процессе (по заданию преподавателя).

5. Модели представления знаний: продукционные. Составить систему продукционных правил и записать продукционную модель представления знаний по управлению технологическим процессом в штатном режиме (по заданию преподавателя).

6. Модели представления знаний: продукционные. Составить систему продукционных правил и записать продукционную модель представления знаний по управлению технологическим процессом в предаварийном режиме (по заданию преподавателя).

7. Модели представления знаний: продукционные. Представить в виде

продукционной модели алгоритм выбора метода очистки сточных вод (по заданию преподавателя).

8. Модели представления знаний: продукционные. Записать систему продукционных правил для выбора метода очистки сточных вод (по заданию преподавателя).

9. Модели представления знаний: семантические сети и фреймы. Использование семантической сети и фреймов для представления знаний о типовом оборудовании химических производств (по заданию преподавателя).

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

8.4. Структура и примеры билетов для зачета с оценкой

Зачет с оценкой по дисциплине «*Экспертные системы в химии и химической технологии*» проводится во 2 семестре и включает три практических задания по разделу 3 рабочей программы дисциплины. Билет для **зачета с оценкой** состоит из 3 вопросов, относящихся к указанному разделу. Ответы на вопросы зачета с оценкой оцениваются из максимальной оценки 40 баллов следующим образом: максимальное количество баллов за первое задание – 13 баллов, второе – 13 баллов, третье – 14 баллов.

Пример билета для **зачета с оценкой**.

«Утверждаю» Зав. каф. КХТП (Должность, название кафедры) _____ Глебов М.Б. (Подпись) (И. О. Фамилия) «__» _____ 20__ г.	Министерство науки и высшего образования РФ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева Кафедра кибернетики химико-технологических процессов 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии Магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий» Дисциплина «Экспертные системы в химии и химической технологии»
	Билет № 1 1. Модели представления знаний: семантические сети. Использование семантических сетей для представления знаний о технологическом процессе получения лидокаина гидрохлорида (стадия ТП-3.1). <u>ТП-3.1. Получение ацетонового раствора 2-диэтиламино-2',6'-ацетоксилидида.</u> В аппарат Р-29 из мерника М-30 загружают ацетон ($m=2,337$ т, $\rho=595,5$ кг/м³) и при работающей мешалке через люк загружают основание лидокаина ($m=0,923$ т, $\rho=790$ кг/м³). Суспензию перемешивают в течение 30-40 мин до полного растворения продукта. Через люк загружают активированный уголь ($m=0,047$ т) и массу перемешивают еще 30 мин. Полученную суспензию фильтруют на друк-филт্রে Ф-31. Уголь на фильтре трижды промывают ацетоном ($m=0,916$ т, $\rho=789,6$ кг/м³) через аппарат Р-29. Ацетоновый раствор основания лидокаина и промывной ацетон с фильтра Ф-31 направляют в аппарат Р-32 на операцию ТП-3.2. Уголь с фильтрующим материалом направляют на термическое обезвреживание. Общее время на стадии 5,5 часов. 2. Модели представления знаний: фреймы. Использование фреймов для представления знаний о технологическом процессе получения лидокаина гидрохлорида (стадия ТП-3.2). <u>ТП-3.2. Получение лидокаина гидрохлорида.</u> К ацетоновому раствору основания лидокаина ($m=4,139$ т, $\rho=635,5$ кг/м³) при работающей мешалке в аппарате Р-32 из мерника М-33 в течение

30-40 мин прибавляют соляную кислоту ($m = 0,407 \text{ т}$, $\rho = 1183 \text{ кг/м}^3$). Температура массы при этом поднимается до $40+2^\circ\text{C}$. Прибавление кислоты ведут до pH массы 3,5-4. Пуском захоложенной воды в рубашку аппарата раствор охлаждают до температуры $20+2^\circ\text{C}$, вносят затравку лидокаина гидрохлорида и перемешивают массу в течение 3 ч. Пуском рассола в рубашку аппарата Р-32 суспензию охлаждают до температуры $3+2^\circ\text{C}$, перемешивают в течение 1 ч и передают на фильтрацию. Общее время на стадии 6 часов.

3. Модели представления знаний: производственные. Составить систему производственных правил и записать производственную модель представления знаний по управлению технологическим процессом блока ректификации секции 200 установки каталитического крекинга в предаварийном и аварийном режиме

Признаки аварийных ситуаций	Действия
Повышение давления в колонне К-201 выше $1,35 \text{ кгс/см}^2$	1. Включить в работу все холодильники воздушного охлаждения 201, увеличить поступление оборотной воды в Х-201/1,2,3. 2. Прекратить подачу острого орошения закрытием регулирующего клапана FCA 2-329. Температуру на верхней тарелке поддерживать подачей верхнего циркуляционного орошения. 3. Давление по газовому тракту К-201 – О-201 регулировать сбросом «факел» через регулирующий клапан PCA 2-13. 4. При остановке газовых компрессоров ЦК-301/1,2,р восстановить работоспособность. 5. Уровень в колонне поддерживать подачей гидрогенизата через клапан дистанционного управления НС 2-29. Постоянно контролировать работу насосов циркуляционных орошений К-201. 6. Действия по секциям 100, 300 производить согласно указанию администрации цеха, установки. 7. При дальнейшем росте давления аварийно остановить установку.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Болотова, Л. С. Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для вузов / Л. С. Болотова ; ответственные редакторы В. Н. Волкова, Э. С. Болотов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 257 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8250-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/490259> (дата обращения: 20.04.2025).

2. Болотова, Л. С. Системы поддержки принятия решений в 2 ч. Часть 2 : учебник и практикум для вузов / Л. С. Болотова ; ответственные редакторы В. Н. Волкова, Э. С. Болотов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 250 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8251-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/471000> (дата обращения: 20.04.2025).

3. Воронов, М. В. Системы искусственного интеллекта : учебник и практикум для вузов / М. В. Воронов, В. И. Пименов, И. А. Небаев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 268 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-17032-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/544161> (дата обращения: 20.01.2025).

Б) Дополнительная литература:

1. Химическая и биологическая безопасность: модели, методы и

интеллектуальные системы управления безопасностью: учеб. пособие / А. Ф Егоров, Т. В. Савицкая, П. Г. Михайлова, С. А. Лёвушкина. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 220 с. (подраздел 2.2 (9 с.), (подраздел 4.2 (34 с.)).

2. Дорохов И. Н., Меньшиков В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств, М.: Наука, 2005. – 584 с.

3. Методологические основы построения экспертных систем в химической технологии [Текст] : учебное пособие / И.В. Хлебалкин, И.Н. Дорохов, Л.С. Гордеев, С.В. Николаев. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. - 48 с.

4. Станкевич, Л. А. Интеллектуальные системы и технологии : учебник и практикум для вузов / Л. А. Станкевич. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 478 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-20363-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/558009> (дата обращения: 20.04.2025).

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

Научно-технические журналы:

– Интеллектуальные системы в производстве. ISSN печатной версии – 1813-7911, ISSN онлайн-версии – 2410-9304;

– Интеллектуальные системы. Теория и приложения (Интеллектуальные системы (до 2014 года)); ISSN печатной версии – 2411-4448

– Искусственный интеллект и принятие решений. ISSN печатной версии – 2071-8594;

– Информационные технологии в проектировании и производстве. ISSN печатной версии – 2073-2597;

– Artificial intelligence. ISSN печатной версии – 0004-3702, ISSN онлайн-версии – 1872-7921;

– Engineering applications of artificial intelligence. ISSN печатной версии – 0952-1976, ISSN онлайн-версии – 1873-6769.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет:

1. Национальный портал в сфере Искусственного интеллекта (ИИ) и применения нейросетей в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ai.gov.ru/> (дата обращения: 17.04.2025).

2. TAdviser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации рабочей программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

Подготовлены:

- электронные конспекты лекций по отдельным разделам дисциплины;
- компьютерные презентации лекций по отдельным разделам дисциплины;
- варианты заданий для выполнения контрольных работ, направленных на приобретение студентами навыков разработки моделей представления знаний для создания экспертных систем в химической технологии;
- темы рефератов и требования к их оформлению.

Указанные информационно-образовательные ресурсы размещены на учебном портале РХТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://study.muctr.ru/course/view.php?id=208> (дата обращения: 15.04.2025).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн с использованием LMS Moodle, включая обмен сообщениями, новостной форум и др.

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 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 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 «**Экспертные системы в химии и химической технологии**» проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеется 1 компьютерный класс с 13 компьютерами, объединенными в локальную сеть с выходом в Интернет, и одним принтером.

Для проведения практических занятий по дисциплине имеются: учебная аудитория, оборудованная мультимедийным оборудованием.

11.2. Учебно-наглядные пособия

Фрагменты технологических регламентов производств, режимные листы установок.

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

На кафедре КХТП для проведения практических занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5.

При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях или при проведении лабораторных работ на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки.

Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

Презентации лекций и семинарских занятий по разделам дисциплины.

Информационно-образовательные, информационно-методические, учебно-исследовательские ресурсы представлены на учебном портале РХТУ им. Д.И. Менделеева.

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1.	Protege Бесплатный редактор онтологий с открытым исходным кодом и фреймворк для построения интеллектуальных систем	Доступна на сайте разработчика по ссылке https://protege.stanford.edu/software.php#desktop-protege	-	Свободно распространяемое программное обеспечение
2.	Microsoft Office Standard 2019 В составе: • Word • Excel • Power Point • Outlook	Контракт №175- 262ЭА/2019 от 30.12.2019	13 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Принципы построения экспертных систем	Знает: основные понятия, классификации и области применения экспертных систем для решения неформализованных задач химической технологии. Теоретические основы создания и организации экспертных систем для решения задач проектирования, планирования, прогнозирования, диагностики и управления в химической технологии;	Оценка за реферат. Оценка на зачете

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	Умеет: формулировать постановки задач проектирования, прогнозирования, планирования, оптимизации и управления объектами химической технологии в условиях неопределенности и выбирать методы решения данных задач с использованием экспертных систем	
Раздел 2. Модели представления знаний в экспертных системах	Знает: теоретические основы создания и организации экспертных систем для решения задач проектирования, планирования, прогнозирования, диагностики и управления в химической технологии; модели представления знаний в экспертных системах.	Оценка за реферат. Оценка на зачете.
Раздел 3. Логические модели в системах, основанных на знаниях	Знает: модели представления знаний в экспертных системах; механизмы логического вывода в экспертных системах; методы и алгоритмы принятия решений в задачах проектирования, планирования и управления химико-технологическими процессами и производствами с использованием экспертных систем. Умеет: разрабатывать базы правил и базы знаний для создания экспертных систем в химической технологии; разрабатывать алгоритмы логического вывода в экспертных системах.	Оценки за контрольные работы №1, 2. Оценка за реферат. Оценка на зачете
Раздел 4. Сетевые структурно-лингвистические модели представления знаний	Знает: модели представления знаний в экспертных системах; механизмы логического вывода в экспертных системах; методы и алгоритмы принятия решений в задачах проектирования, планирования и управления химико-технологическими процессами и производствами с использованием экспертных систем. Умеет: разрабатывать базы правил и базы знаний для создания экспертных систем в химической технологии; разрабатывать алгоритмы логического вывода в экспертных системах. Владеет: навыками использования современных оболочек экспертных систем для решения задач поддержки принятия решений и управления в химической технологии.	Оценка за контрольную работу №3. Оценка за реферат. Оценка на зачете.
Раздел 5. Фреймовые модели	Знает: модели представления знаний в экспертных системах;	Оценка за контрольную

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
представления знаний об объектах химической технологии	механизмы логического вывода в экспертных системах; методы и алгоритмы принятия решений в задачах проектирования, планирования и управления химико-технологическими процессами и производствами с использованием экспертных систем. Умеет: разрабатывать базы правил и базы знаний для создания экспертных систем в химической технологии; разрабатывать алгоритмы логического вывода в экспертных системах. Владеет: навыками использования современных оболочек экспертных систем для решения задач поддержки принятия решений и управления в химической технологии.	работу №3. Оценка за реферат. Оценка на зачете.
Раздел 6. Продукционные правила, модели и системы представления знаний	Знает: модели представления знаний в экспертных системах; механизмы логического вывода в экспертных системах; методы и алгоритмы принятия решений в задачах проектирования, планирования и управления химико-технологическими процессами и производствами с использованием экспертных систем. Умеет: разрабатывать базы правил и базы знаний для создания экспертных систем в химической технологии; разрабатывать алгоритмы логического вывода в экспертных системах. Владеет: навыками использования современных оболочек экспертных систем для решения задач поддержки принятия решений и управления в химической технологии.	Оценка за контрольную работу №4. Оценка за реферат. Оценка на зачете.
Раздел 7. Экспертные обучающие системы и тренажёрные комплексы в химической технологии	Знает: методы и подходы к созданию экспертных обучающих систем и тренажёрных комплексов для управления химико-технологическими процессами, системами и химическими предприятиями. Умеет: разрабатывать базы правил и базы знаний для создания экспертных систем в химической технологии.	Оценка за реферат. Оценка на зачете

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 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 в РХТУ им. Д.И. Менделеева, принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 30.10.2019, протокол № 3, введенным в действие приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.11.2019 № 646А;

– 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
«Экспертные системы в химии и химической технологии»
 основной образовательной программы
 по направлению подготовки
 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
 нефтехимии и биотехнологии»
 Магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»

Форма обучения: очная

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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Инженерное творчество в химии и химической технологии»

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена: профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов, д.т.н. Дороховым И.Н.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
кибернетики химико-технологических процессов

«12» мая 2025 г., протокол № 8.

1. ЦЕЛИ 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, магистерская программа «Кибернетика для инновационных технологий», рекомендациями методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой кибернетики химико-технологических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина «Инженерное творчество в химии и химической технологии» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули) учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области математики, вычислительной математики, макрокинетики химических процессов, процессов и аппаратов химической технологии, общей и неорганической химии, органической химии.

Цель дисциплины – научить магистранта методам активизации научно–технического творчества в области создания новой техники, оригинальных процессов и аппаратов химической технологии, конкурентоспособной наукоемкой продукции, новых и высоких технологий.

Задачи дисциплины:

- сформировать у магистранта системное творческое инженерное мышление
- развить способность генерировать новые высокоэффективные нестандартные технические идеи и их успешно воплощать в виде изобретений и патентов при создании новых технологий, материалов, процессов и аппаратов.
- целенаправленно подготовить к творческой деятельности, к генерированию новых нестандартных идей.

Дисциплина «Инженерное творчество в химии и химической технологии» в соответствии с учебным планом подготовки магистра преподается во втором 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

1.

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, вырабатывать стратегию действий.	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.

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих профессиональных компетенций и индикаторов 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
Научно-исследовательский тип задач профессиональной деятельности				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических	- Химическое, химико-технологическое производство - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности	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

характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	(в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).		ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности	С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
			ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	

		ПК-2 Готов к анализу и систематизации научно-технической информации исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	ПК-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ ПК-2.3 Владеет навыками проведения информационного поиска и обработки научно-технической информации	
		ПК-4 Способен решать	ПК-4.1 Знает принципы построения математических	

		исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	моделей, проверку их достоверности, последние достижения в развитии математического моделирования на основе теории искусственного интеллекта: соотношение математического и физического моделирования. ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий. ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- теорию принятия решений и исчисление решения изобретательских задач;
- основные положения технического творчества;
- эвристические методы творчества и изобретательской деятельности;
- теорию решения изобретательских задач;
- компьютерные методы поискового конструирования;
- морфологический метод анализа и синтеза технических объектов и систем.

Уметь:

- генерировать новые высокоэффективные нестандартные технические идеи и решения и успешно их воплощать в виде изобретений и патентов при создании новых технологий, материалов, процессов и аппаратов химической технологии.

Владеть:

- методами качественного и количественного анализа химико-технологических процессов;
- методами выявления проблем и противоречий в ситуациях создания новых процессов и аппаратов химической технологии;
- методами оптимального синтеза структуры исследуемого объекта;
- методами изобретательской и инновационной деятельности.

3. ОБЪЕМ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад . ч.	Астр .ч.
Общая трудоемкость дисциплины	4	144	108
Контактная работа – аудиторные занятия:	1,89	68	51
Лекции	0,47	17	12,75
Лабораторные работы	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0,94	34	25,5
Самостоятельная работа	1,11	40	30
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	1,11	40	30
Вид контроля:			
Экзамен	1	36	27
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
Вид итогового контроля:	Экзамен		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий для магистрантов.

№	Раздел дисциплины	Всего	Лекции	Практич. занятия	Лаб. Раб.	Самост. работа
1	Раздел 1. Основные понятия изобретательства.	13	2	4	2	5
1.1	Законы развития технических систем. Изобретение и его признаки.					
2	Раздел 2. Поиск технических решений.	13	2	4	2	5
2.1	Эвристические приемы решения изобретательских задач. Методы активизации творческого мышления.					
3	Раздел 3. Основные понятия инженерного творчества.	15	3	4	3	5
3.1	Синтез физических принципов действия. Фонд физико-технических эффектов. Пример синтеза физического принципа действия.					

4	Раздел 4. Метод Коллера. Вепольные системы. Правила преобразования веполя.	13	2	4	2	5
4.1	Пример решения задачи с применением веполей.					
5	Раздел 5. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ).	13	2	4	2	5
5.1	Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Пример решения изобретательской задачи с применением АРИЗ.					
6	Раздел 6. Морфологический метод анализа и синтеза технических объектов и систем.	13	2	4	2	5
6.1	Два подхода к морфологическому синтезу: на основе четких критериев качества; на основе нечетких критериев качества. Показатели качества проектных решений. Учет субъективных факторов экспертов.					
7	Раздел 7. Построение метода синтеза эвристических приемов.	13	2	4	2	5
7.1	Метод решения задач концептуального проектирования на основе использования системы «конфликт – частный эвристический прием». Архитектура информационно-поисковой системы					

8	Раздел 8. Изобретающая программа «Новатор».	15	2	6	2	5
8.1	Блок-схема изобретающей программы «Новатор». Анализ ситуации. Разработка концепции. Сравнение концепций. Поиск в базе данных. Редактирование исследовательского отчета.	36				
	Экзамен					
	Итого:	144	17	34	17	40

4.2. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Основные понятия изобретательства. Законы развития технических систем. Изобретательские задачи. Изобретение и его признаки. Уровни изобретательских решений. Международная классификация изобретений.

Раздел 2. Поиск технических решений. Общая характеристика приемов поиска технических решений. Метод проб и ошибок. Эвристические приемы решения изобретательских задач. Методы активизации творческого мышления: мозговой штурм; метод контрольных вопросов; синектика; метод фокальных объектов; метод ассоциаций и гирлянд случайностей; метод морфологических матриц.

Раздел 3. Основные понятия инженерного творчества. Синтез физических принципов действия. Технический и технологический объект. Иерархия описаний технических и технологических объектов. Техническая функция. Функциональная структура. Физический принцип действия. Фонд физико-технических эффектов. Список требований к техническому объекту. Синтез физического принципа действия по заданной физической операции. Пример синтеза физического принципа действия.

Раздел 4. Метод Коллера. Вепольные системы. Правила преобразования веполя. Пример решения задачи с применением веполей.

Раздел 5. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Пример решения изобретательской задачи с применением АРИЗ.

Раздел 6. Морфологический метод анализа и синтеза технических объектов и систем. Понятие морфологии. Морфологический анализ и синтез. Морфологический ящик. Два подхода к разработке морфологических таблиц: конструктивно-функциональный анализ технической системы; выделение функционально-значимых отношений. Два подхода к морфологическому синтезу: на основе четких критериев качества; на основе нечетких критериев качества. Показатели качества проектных решений. Учет субъективных факторов экспертов. Методы морфологического синтеза при наличии прототипа. Методы морфологического синтеза в отсутствие прототипа. Морфологический метод древовидного синтеза. Морфологический метод лабиринтного синтеза. Морфологический метод блочно-лабиринтного синтеза. Морфологический анализ и синтез на И-ИЛИ-графах.

Раздел 7. Построение метода синтеза эвристических приемов. Интерпретация и конкретизация обобщенных эвристических приемов. Процедура инверсии эвристических приемов. Верификация метода синтеза эвристических приемов и формирование объектно-ориентированных фондов эвристических приемов. Классификация объектов и процессов химической технологии. Классификация параметров и математических моделей химического процесса, химической реакции и механизма химической реакции. Верификация метода синтеза эвристических приемов на технологических решениях. Классификация параметров и математических моделей физико-технических эффектов для контактного аппарата, контактной ступени и контактного устройства аппарата. Верификация эвристических приемов на технических решениях. Информационно-поисковая система по эвристическим приемам. Метод решения задач концептуального проектирования на основе использования системы «конфликт – частный эвристический прием». Архитектура информационно-поисковой системы.

Раздел 8. Изобретающая программа «Новатор». Постановка задачи. Блок-схема изобретающей программы «Новатор». Анализ ситуации. Разработка концепции. Сравнение концепций. Поиск в базе данных. Редактирование исследовательского отчета.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	1	2	3	4	5	6	7	8
	Знать:								
1	- теорию принятия решений и исчисление	+	+			+			

	решения изобретательских задач;								
2	- основные положения технического творчества;	+		+		+			
3	- эвристические методы творчества и изобретательской деятельности;		+		+		+		
4	- теорию решения изобретательских задач;			+	+	+			
5	- компьютерные методы поискового конструирования;					+	+	+	+
6	- морфологический метод анализа и синтеза технических объектов и систем;				+	+	+		
	Уметь:								
7	- генерировать новые высокоэффективные нестандартные технические идеи решения и успешно их воплощать в виде изобретений и патентов при создании новых технологий, материалов, процессов и аппаратов.							+	+
	Владеть:								
8	-методами качественного и количественного анализа химико-технологических процессов, методами выявления проблем и противоречий в ситуациях создания новых процессов и аппаратов химической технологии, методами оптимального синтеза структуры исследуемого объекта, методами изобретательской и инновационной деятельности.			+		+		+	+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие универсальные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	1	2	3	4	5	6	7	8
УК–1 Способен осуществлять критический анализ	УК-1.1. Знает методы анализа проблемных ситуаций на основе системного подхода	+	+	+	+	+	+	+	+
		+	+	+	+	+	+	+	+

проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия.	УК – 1.2. Умеет осуществлять поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации							
	УК-1.3. Умеет определять в рамках выбранного алгоритма вопросы или задачи, подлежащие дальнейшей разработке.	+	+	+	+	+	+	+

В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	1	2	3	4	5	6	7	8
ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.1. Знает современные методы, использующиеся при проведении научных исследований в области реализации принципов энерго- и ресурсосбережения и основные этапы выполнения научно-исследовательской работы	+	+	+	+	+	+	+	+
	ПК-1.2. Умеет применять полученные знания для системного и комплексного проведения научных исследований по ресурсосбережению и повышению эффективности в области профессиональной деятельности	+	+	+	+	+	+	+	+

ПК-2 Готов к анализу и систематизации научно-технической информации исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации ПК-4 Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	+	+	+	+	+	+
	ПК-2.1.Знает теорию эксперимента в области своей профессиональной деятельности и методики анализа явлений и процессов.	+	+	+	+	+	+	+	+
	ПК-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	+	+	+	+	+	+	+	+
	ПК-2.3 Владеет навыками проведения информационного поиска и обработки научно-технической информации	+	+	+	+	+	+	+	+
	ПК-4.1 Знает принципы построения математических моделей, проверку их достоверности, последние достижения в развитии математического моделирования на основе теории искусственного интеллекта: соотношение математического и физического моделирования	+	+	+	+	+	+	+	+
	ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных	+	+	+	+	+	+	+	+

	химических технологий. ПК-4.3 Владеет приемами применения метода математического моделирования для исследования отдельных технологических процессов и систем, в том числе с использованием специализированных компьютерных программных средств	+	+	+	+	+	+	+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий	Часы
1	2,5	Конструктивно-функциональный анализ технических объектов. Построение конструктивно- функциональной структуры химико-технологического аппарата. (4 часа).	3
2	2,5	Международная классификация изобретений (4 часа).	2
3	1,2,5	Изучение приемов Г.С. Альтшуллера с расшифровкой приемов на конкретных примерах(4 часа).	6
4	3,7	Решение типовых изобретательских задач с применением таблицы приемов устранения технических противоречий Г.С.Альтшуллера (4 часа).	5
5	2,7	Вещественно-полевой анализ в изобретательской практике и применение стандартов для решения типовых изобретательских задач (8 часов).	8
6	5,6,7	Решение типовых изобретательских задач с	5

		помощью указателей физико-технических эффектов (4 часа).	
7	5,7	Функционально-физический анализ технических объектов. Физическая операция. Список операций Коллера. Построение потоковой структуры химико-технологического аппарата (6 часов).	5
	Итого		34 часа

6.2. Лабораторные работы

Лабораторные работы не предусмотрены.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала;
- подготовку к контрольным работам;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ;
- использование тестов промежуточного контроля знаний междисциплинарной автоматизированной системы обучения (АСО) для проверки знаний по отдельным разделам дисциплины,
- посещение отраслевых выставок, семинаров, конференций различного уровня,
- подготовку к сдаче зачёта по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимую для изучения 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 учебной 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

(РАЗДЕЛ ВЫПОЛНЕН В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ)

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.Экзаменационные задания.

Для текущего контроля предусмотрено 10 контрольных работ. Максимальная оценка составляет 6 баллов за каждую работу.

Раздел 1.

Контрольная работа №1. Законы развития технических систем.

Раздел 2.

Контрольная работа №2. Эвристические методы решения изобретательских задач. Приемы и таблица Альтшуллера.

Контрольная работа №3. Решение изобретательской задачи на преодоление технического противоречия.

Раздел 3.

Контрольная работа №4. Вепольный анализ технических систем.

Контрольная работа №5. Стандарты решения изобретательских задач.

Раздел 4.

Контрольная работа №6. Функциональный анализ технических объектов.

Контрольная работа №7. Применение физико-технических эффектов.

Раздел 5.

Контрольная работа №8. Синтез физических принципов действия.

Раздел 6.

Контрольная работа № 9. Применение химических эффектов.

Раздел 7.

Контрольная работа №10. Алгоритмические методы поиска технических решений.

Примеры контрольных работ

Контрольная работа №3. Раздел 2.

Придумайте ампулу, которая могла бы увеличивать свой внутренний объем. Дело в том, что для опытов по получению сплавов ампулу полностью (на 100%) заполняют твердыми веществами (металлами). В космосе ампулу нагревают, металлы плавятся, потом получившийся сплав затвердевает. При этом объем сплава превышает объем исходных материалов и стекло не выдерживает, лопается. Примечание. Газы в ампуле оставаться не должны.

Контрольная работа №8.Раздел 5.

1. Внимательно прочитать стр.9-13 методического материала "Список физических эффектов и явлений" (файл: фпд 3): Введение. Несколько соображений об Указателе ФТЭ.Как использовать Указатель?
2. Выбрать из нижеследующего перечня авторское свидетельств (АС) свое АС и внимательно прочитать его (см. стр.2). Определить, какая техническая функция реализована в данном АС и какой вид энергии для этого используется (в терминологии таблицы выбора ФТЭ - файл фпд 5).
3. В таблице выбора ФПД (файл: фпд 5) найти клетку пересечения выбранного столбца и строки. В клетке выбрать 1 или 2 названия ФТЭ (в клетке их может быть больше).
4. Перейти к списку физических эффектов и явлений (файл фпд 6) и по левому столбцу № п/п найти номера своих ФТЭ. В четвертом столбце помещены номера выполняемых функций данных ФТЭ, выбрать не больше двух номеров выполняемых функций. Для описания выполняемых функций обратиться к Инструкции для пользователя (файл: фпд 4).
5. В Инструкции для пользователя (файл: фпд 4) содержатся описания 26 выполняемых функций (названия - жирным шрифтом № 1 - № 26). Из каждого номера выбрать не меньше 2-х ФТЭ и приступить к их описанию.

8.2. Отчеты по лабораторным работам для текущего контроля освоения дисциплины.

(Лабораторные работы не предусмотрены)

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (2-й семестр – экзамен)

Максимальное количество баллов за экзамен 40 баллов. Билет содержит два теоретических вопроса, относящихся к разным разделам дисциплины. Максимальная оценка за каждый теоретический вопрос – 20 баллов.

8.3.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины

1. Качество создаваемых технических проектов. Формула для вероятности создания проекта с заданным уровнем качества.
2. Естественные и искусственные системы. Понятие технической системы. Свойства технической системы и элементов технической системы. Виды отношений между элементами технической системы.
3. Потребность в технической системе. Функция технической системы. Функциональная структура технической системы. Конструктивно-функциональный анализ технической системы.
4. Проектная задача. Поисковая задача. Задача выбора.
5. Постановка поисковой задачи. Проблемная ситуация.
6. Законы развития технических систем.
7. Типы и уровни изобретательских задач.

8. Объекты изобретения в технике: устройство; способ; вещество; применение известного ранее устройства, способа, вещества по новому назначению.
9. Международная классификация изобретений.
10. Эвристические приемы и фонды эвристических приемов.
11. Техническое противоречие. Приемы устранения технических противоречий Г.С.Альтшуллера.
12. Таблица устранения технических противоречий Г.С.Альтшуллера.
13. Вепольный анализ. Правила преобразования веполей.
14. Стандарты на решение изобретательских задач.
15. Порядок применения стандартов при решении изобретательских задач.
16. Понятие физико-технического эффекта (ФТЭ). Фонды ФТЭ. Указатели ФТЭ. Прямая и обратная задача с применением указателей ФТЭ.
17. Химические эффекты. Классификация и признаки химических эффектов.
18. Указатель использования химических эффектов для решения изобретательских задач.
19. Химические эффекты образования и исчезновения вещества.
20. Химические эффекты выделения и поглощения энергии.
21. Электреты.
22. Базы данных по использованию химических эффектов (в экологии, аккумуляторы электричества, способы получения покрытий металлами).
23. Функционально-физический анализ технических систем. Техническая функция. Физическая операция. Таблица операций Коллера.
24. Функциональная и потоковая структура технического объекта.
25. Физический принцип действия технической системы (ФПД). Понятие совместимости физико-технических эффектов. Виды совместимости ФТЭ. Синтез ФПД.
26. Пример синтеза физического принципа действия (датчик для измерения давления жидкости).
27. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ).
28. Изобретающая машина - приемы (ИМ - П).
29. Изобретающая машина - эффекты (ИМ - Э).
30. Изобретающая машина - стандарты (ИМ - С).
31. Блок-схема изобретающей программы "Новатор"
32. Фонды эвристических приемов.
33. Межотраслевой фонд эвристических приемов А.И.Половинкина.
34. Фонд эвристических приемов для синтеза неоднородных ХТС многоассортиментных производств хлорметанов.
35. Блок-схема системы автоматизированного синтеза эвристических приемов.

36. Поиск и построение иерархического описания объекта химической технологии в процедуре синтеза эвристических приемов.

37. Анализ объекта химической технологии в процедуре автоматизированного синтеза эвристических приемов.

38. Классификация параметров объекта химической технологии для N - го уровня иерархии в процедуре автоматизированного синтеза эвристических приемов.

39. Блок-схема процесса решения задач концептуального проектирования на основе использования системы "конфликт - частный ЭП".

40. Мозговой штурм.

41. Синектика.

42. Ассоциативные методы активизации творческого мышления: метод каталога; метод фокальных объектов; метод гирлянд; метод случайностей и ассоциаций.

43. Метод контрольных вопросов.

44. Морфологический анализ и синтез решений.

45. Изобретающая программа "Новатор"

8.4. Структура и примеры билетов для экзамена (2-й семестр)

Экзамен по дисциплине включает контрольные задания по разделам учебной программы дисциплины. Билет включает 2 теоретических вопроса. Максимальная оценка – 40 баллов.

Пример билета для экзамена.

«Утверждаю»
зав. Кафедрой
Глебов М.Б.

Министерство науки и высшего образования РФ

**Российский химико-технологический университет
имени Д.И.Менделеева**

«__»____
2025 г

**Кафедра кибернетики химико-технологических
процессов**

**18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в
химической**

технологии, нефтехимии и биотехнологии

**Магистерская программа – кибернетика для
инновационных технологий**

Билет № 3.

1. Потребность в технической системе. Функция технической системы. Функциональная структура технической системы. Конструктивно-функциональный анализ технической системы (20 баллов).

2. Блок-схема изобретающей программы Новатор (20 баллов).

9. УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная.

1. Дорохов И.Н. Инженерное творчество и инновационный менеджмент в химии и химической технологии. Лабораторный практикум: учеб. пособие / И.Н. Дорохов. - М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2016. - 76 с.

Б) Дополнительная.

1. Дорохов И.Н., Меньшиков В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств. М.: Наука, 2005- 583 с.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. – М.: Машиностроение, 1988. – 420 с. 2 экз. +ЭБС ЛАНЬ
3. Земляной, К. Г. Основы научных исследований и инженерного творчества (учебно-исследовательская и научно-исследовательская работа студента) : учебно-методическое пособие / К. Г. Земляной, И. А. Павлова. — Екатеринбург : УрФУ, 2015. — 68 с. — ISBN 978-5-7996-1388-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/99010> (дата обращения: 20.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

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

Научно-технические журналы:

- «Химическая промышленность сегодня», ISSN – 0023-110X;
- «Химическая технология», ISSN – 1684-5811;

- «Теоретические основы химической технологии», ISSN – 0040-3571;
- «Computers and Chemical Engineering» ISSN – 0098-1354;
- «Программные продукты и системы», ISSN (печатной версии) – 0236-235X, ISSN (онлайновой версии) – 2311-2735;

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

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

- конспекты лекций в формате *.pdf – 16;
- демонстрационные расчётные модули по комплексным заданиям;
- предустановленное лицензионное программное обеспечение в компьютерном классе (Windows 7, Microsoft Office 2010).

Имеются дополнительные средства для изучения дисциплины: электронные учебные пособия, библиотека программ для решения уравнений моделей, задания к практическим занятиям (50 задач), задания к самостоятельным работам (50 задач).

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн.

- тематическая группа в социальной сети Вконтакте, доступ к групповым чатам (Discord, WhatsApp, Viber), к вебинарам (Discord, Zoom, webinar.ru), групповой электронной почте, онлайн-конференции в Skype.

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 01.01.202 г. составляет 1 563 142 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

В соответствии с учебным планом занятия проводятся в форме лекций, практических занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий вместимостью не менее 30 человек, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Компьютерный класс, насчитывающий не менее 10 посадочных мест, с предустановленным лицензионным программным обеспечением (Windows, Microsoft Excel) и выходом в Интернет для проведения практических и лабораторных занятий.

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

11.2. Учебно-наглядные пособия

Учебные пособия по дисциплине.

Электронный раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Демонстрационные расчётные модули по комплексным заданиям.

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

На кафедре КХТП для проведения занятий по дисциплине имеются персональные компьютеры с предустановленным стандартным и специализированным лицензионным программным обеспечением, приведенным в разделе 11.5. При необходимости использования аудиовизуального материала на лекциях на кафедре имеются проектор и настенный экран, а также звуковые колонки. Все компьютеры объединены в единую локальную сеть и имеют доступ к глобальной сети Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

На кафедре КХТП используются информационно-методические материалы: инструкции по технике безопасности в компьютерном классе; методические рекомендации к практическим занятиям; учебные пособия; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; учебно-методические разработки кафедры в электронном виде; раздаточный материал к разделам дисциплины; справочные материалы.

На кафедре КХТП используются электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; электронные конспекты лекций; учебно-методические разработки в электронном виде; демонстрационные программы; специализированное программное обеспечение; справочные материалы в электронном виде.

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п. п.	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество	Срок окончания действия лицензии
1	WINHOME 10 Russian OLV NL Each AcademicEdition	Контракт № 28-35ЭА/2020 от 26.05.2020	9 лицензий для активации на рабочих станциях	бессрочная
2	Microsoft Office Standard 2019 В составе: • Word • Excel • Power Point • Outlook	Контракт №175-262ЭА/2019 от 30.12.2019	15 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую)

12.ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля, оценки
Раздел 1. Основные	Знает законы развития технических систем.	Оценка на

понятия изобретательства.	Умеет решать изобретательские задачи. Изобретение и его признаки. Владеет международной классификацией изобретений.	экзамене.
Раздел 2. Поиск технических решений.	Знает общую характеристику приемов поиска технических решений. Умеет применять метод проб и ошибок, эвристические приемы решения изобретательских задач. Владеет методами активизации творческого мышления: мозговой штурм; метод контрольных вопросов; синектика; метод фокальных объектов; метод ассоциаций и гирлянд случайностей; метод морфологических матриц.	Выполнение задач на практических занятиях. Оценивается в баллах. Оценка на экзамене.
Раздел 3. Основные понятия инженерного творчества.	Знает метод синтеза физических принципов действия. Умеет пользоваться фондом физико-технических эффектов. Владеет синтезом физического принципа действия по заданной физической операции	Оценка на экзамене.
Раздел 4. Метод Коллера. Вепольные системы.	Знает метод Коллера. Умеет пользоваться аппаратом веполей и методом Коллера. Владеет приемами преобразования веполя.	Оценка на экзамене.
Раздел 5. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ).	Знает алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Умеет пользоваться методами теории решения изобретательских задач. Владеет приемами решения изобретательской задачи с применением	Оценка на экзамене.

	ТРИЗ.	
Раздел 6. Морфологический метод анализа и синтеза технических объектов и систем.	Знает морфологический анализ и синтез. Умеет реализовать морфологический синтез на основе четких критериев качества; на основе нечетких критериев качества. Владеет морфологическим методом древовидного синтеза, морфологическим методом лабиринтного синтеза, морфологическим методом блочно-лабиринтного синтеза, морфологическим анализом и синтезом на И-ИЛИ-графах.	Выполнение задач на практических занятиях. Оценивается в баллах. Оценка на экзамене.
Раздел 7. Построение метода синтеза эвристических приемов.	Знает метод синтеза эвристических приемов. Умеет выполнять интерпретацию и конкретизацию обобщенных эвристических приемов; инверсию эвристических приемов. Владеет методом решения задач концептуального проектирования на основе использования системы «конфликт – частный эвристический прием».	Выполнение задач на практических занятиях. Оценивается в баллах. Оценка на экзамене.
Раздел 8. Изобретающая программа «Новатор».	Знает блок-схему изобретающей программы «Новатор». Умеет выполнять анализ ситуации, разрабатывать концепции. Владеет поиском в базе данных, редактированием исследовательского отчета.	Выполнение задач на практических занятиях. Оценивается в баллах. Оценка на экзамене.

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 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 РПД по дисциплине
«Инженерное творчество в химии и химической технологии»
основной образовательной программы
по направлению подготовки
18.04.02 «Энерго– и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии»
Магистерская программа
«Кибернетика для инновационных технологий»
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.

**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

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Хеометрика»**

Направление подготовки

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

Магистерская программа

«Кибернетика для инновационных технологий»

Квалификация «магистр»

Москва 2025

Программа составлена профессором кафедры химического и фармацевтического инжиниринга, д.т.н., доцентом Гордиенко М.Г.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры химического и фармацевтического инжиниринга «5» мая 2025 г., протокол № 6.

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), магистерская программа **«Кибернетика для инновационных технологий»**, рекомендациями методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **Химического и фармацевтического инжиниринга** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение одного семестра.

Дисциплина **«Хеометрика»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 «Дисциплины (модули)» учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области высшей математики, аналитической химии и физико-химических методов анализа, базовых основ математического моделирования.

Цель дисциплины – овладение магистрантами структурными методами и алгоритмами обработки больших массивов экспериментальных данных, в том числе многомерного статистического анализа, оптимизации аналитической информации в области химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

Задачи дисциплины:

- освоение магистрантами специфики методов обработки многомерных данных, поступающих с современного аналитического оборудования, применяемого при создании нанообъектов и их целевом использовании;

- приобретение практических навыков выбора адекватных методов анализа и обработки экспериментальной информации, поступающей в результате эксплуатации современного оборудования и приборов, используемых для определения свойств нанообъектов.

Дисциплина «Хеометрика» преподается в 1 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 профессиональных компетенций и индикаторов 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
Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский				
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-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	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 – 6)

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
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-2. Готов к анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи, анализу результатов и их интерпретации	ПК-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	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 – 6)
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также	– Химическое, химико-технологическое производство. – Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и	ПК-4. Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.1 Знает принципы построения математических моделей, проверку их достоверности, последние достижения в развитии математического моделирования на основе теории искусственного	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.

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
комплекса работ по разработке технологической документации	опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).		интеллекта; соотношение математического и физического моделирования ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6)

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

Знать:

- предмет и методы хемометрики;
- основы теории и методы измерений;
- методы обнаружения и обработки сигналов;
- смысл операции градуирования и применяемые методы;
- основные свойства корреляционной матрицы, структурные методы регрессионного анализа;
- назначение стохастического факторного анализа, устойчивость статистического оценивания;
- методы разложения сложных сигналов на простые;
- методы распознавания образов, кластерного анализа.

Уметь:

- интерпретировать результаты измерений, оценивать их погрешность, формировать матрицы данных;
- выполнять статистическую обработку информации;
- выбирать адекватный метод градуирования и применять калибровочные кривые в химическом анализе;
- разрабатывать и практически применять алгоритмы обработки информации;
- разрабатывать и практически применять алгоритмы различных вариантов факторного анализа;
- определять сложность сигналов и выполнять их разрешение;
- разрабатывать и применять алгоритмы автоматической классификации.

Владеть:

- методами эксплуатации современного информационного оборудования для обработки многомодальных (многомерных) данных;
- практикой применения пакетов прикладных программ по изученной дисциплине.

3. ОБЪЁМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
Общая трудоемкость дисциплины	3	108	81
Контактная работа – аудиторные занятия:	1,9	68	51
Лекции	0,5	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0,5	17	12,75
Лабораторные работы (ЛР)	0,9	34	25,5
Самостоятельная работа	1,1	40	30
Вид итогового контроля:	Зачет с оценкой		

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов								
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг.	Лекции	в т.ч. в форме пр. подг.	Лабор. работы	в т.ч. в форме пр. подг.	Практ. работа	в т.ч. в форме пр. подг.	Самост. работа
	Введение	3	–	0,5	–	2	–	0,5	–	–
	Раздел 1. Обнаружение и обработка сигналов. Проекционные методы анализа данных	18,5	–	3,75	–	4	–	3,75	–	7
1.1	Обнаружение аналитических сигналов	3,5	–	0,75	–	–	–	0,75	–	2
1.2	Обработка сигналов	4	–	1	–	–	–	1	–	2
1.3	Проекционные методы анализа данных: МГК и МПЛС	11	–	2	–	4	–	2	–	3
	Раздел 2. Градуирование (калибровка)	32	–	5,5	–	10	–	5,5	–	11
2.1	Постановка задачи градуирования и подготовка данных	3	–	1	–	–	–	1	–	1
2.2	Классическая калибровка	10	–	1,5	–	4	–	1,5	–	3
2.3	Обратная калибровка	10	–	1,5	–	4	–	1,5	–	3
2.4	Калибровка на латентных переменных	9	–	1,5	–	2	–	1,5	–	4
	Раздел 3. Классификация	23,5	–	2,75	–	8	–	2,75	–	10
3.1	Постановка задачи классификации и подготовка данных	3,5	–	0,75	–	–	–	0,75	–	2
3.2	Классификация с учителем	10	–	1,0	–	4	–	1,0	–	4
3.3	Классификация без учителя	10	–	1,0	–	4	–	1,0	–	4

	Раздел 4. Разрешение многомерных кривых	31	–	4,5	–	10	–	4,5	–	12
4.1	Постановка задачи, условия разрешимости, особенности хроматографических и кинетических типов данных	4,5	–	0,75	–	2	–	0,75	–	1
4.2	Факторный анализ	12,5	–	1,75	–	4	–	1,75	–	5
4.3	Итерационные методы	12,5	–	1,75	–	4	–	1,75	–	5
	Заключение	1,5	–	0,25	–	–	–	0,25	–	1
	Всего	108	–	17	–	34	–	17	–	40

4.2. Содержание разделов дисциплины

Введение.

Предмет и методы хемометрики в рамках аналитических методов, используемых в химической технологии, биотехнологии и нефтехимии. Цели и задачи курса. Методические рекомендации студентам.

Раздел 1. Обнаружение и обработка сигналов. Проекционные методы анализа данных

1.1. Обнаружение аналитических сигналов

Связь аналитического сигнала с измеряемой физической характеристикой нанообъектов. Обнаружение сигналов аналита и фона. Предел обнаружения. Точечное и интервальное оценивание предела обнаружения сигнала. Проверка гипотез об отличии сигнала аппарата от сигнала фона. Определение погрешности обнаружения сигнала аналита по неравенству Чебышева. Непараметрические критерии. Критерий Вилкоксона.

1.2. Обработка сигналов

Регрессионный анализ как основной метод обработки сигналов. Методы наименьших квадратов и максимального правдоподобия. Методы увеличения отношения «сигнал/шум»: фильтрация и модуляция сигналов. Спектральный анализ: быстрое преобразование Фурье, преобразование Адамара.

1.3. Проекционные методы анализа данных: МГК и МПЛС

Изучение проекционных методов анализа: метод главных компонент (МГК) и метод проекции на латентные структуры (МПЛС). Матрицы счетов, нагрузок и остатков. Требования к матрице исходных данных. Алгоритм МГК и МПЛС. Анализ результатов, полученных проекционными методами.

Раздел 2. Градуирование (калибровка)

1.1. Постановка задачи градуирования и подготовка данных

Постановка задачи градуировки при определении характеристик промышленных нанообъектов. Линейная и нелинейная градуировка. Калибровка и проверка, критерии оценки качества калибровки. Неопределенность, точность и воспроизводимость. Проблемы недооценки и переоценки. Проблема с мультиколлинеарностью при многомерной калибровке. Требования к анализируемым данным.

1.2. Классическая калибровка

Калибровка по одному каналу (однофакторная). Метод Фирордта на примере анализа спектров. Непрямая калибровка.

1.3. Обратная калибровка

Метод множественной линейной регрессии. Метод пошаговой калибровки как способ снижения переоценки.

1.4. Калибровка на латентных переменных

Применение проекционных методов, как инструмента градуирования. Определение эффективной размерности многомерных данных. Анализ взаимоотношений образцов, содержащих нанообъекты. Исследование роли переменных. Регрессия на латентных переменных и ее практическое применение. Регрессия на главные компоненты.

Раздел 3. Классификация

3.1. Постановка задачи классификации и подготовка данных

Постановка задачи классификации: обучение с учителем и без. Ошибка классификации. Рост сложности задачи с ростом числа переменных. Подготовка данных.

3.2. Классификация с учителем

Методы классификации с учителем: линейный дискриминантный анализ, квадратичный дискриминантный анализ, метод PLS дискриминации, формальное независимое моделирование аналогий классов, метод k ближайших соседей.

3.3. Классификация без учителя

Применение метода главных компонент для классификации образцов.
Кластеризация с помощью К-средних.

Раздел 4. Разрешение многомерных кривых

4.1. Постановка задачи, условия разрешимости, особенности хроматографических и кинетических типов данных

Постановка задачи разрешения многомерных кривых. Проблема неоднозначности решения и условия разрешимости. Особенности данных различного типа. Применение метода главных компонент для оценки числа химических компонентов для поиска решения задачи разрешения кривых и для создания основы для факторного анализа.

4.2. Факторный анализ

Шкалирующие и вращающие преобразования. Прокрустов анализ. Эволюционный факторный анализ. Оконный факторный анализ.

4.3. Итерационные методы

Итерационный целевой факторный анализ. Метод чередующихся наименьших квадратов. Кинетическое моделирование спектральных данных.

5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	Знать:				
1	предмет и методы хемометрики	+	+	+	+
2	основы теории и методы измерений	+			
3	методы обнаружения и обработки сигналов	+	+		+
4	смысл операции градуирования и применяемые методы		+		
5	основные свойства корреляционной матрицы, структурные методы регрессионного анализа		+		
6	назначение стохастического факторного анализа, устойчивость статистического оценивания				+
7	методы разложения сложных сигналов на простые				+
8	методы распознавания образов, кластерного анализа				
	Уметь:				
9	интерпретировать результаты измерений, оценивать их погрешность, формировать матрицы данных	+	+	+	+
10	выполнять статистическую обработку информации	+	+	+	+
11	выбирать адекватный метод градуирования и применять калибровочные кривые в химическом анализе		+		
12	разрабатывать и практически применять алгоритмы обработки информации		+	+	+
13	разрабатывать и практически применять алгоритмы различных вариантов факторного анализа				+
14	определять сложность сигналов и выполнять их разрешение				+
15	разрабатывать и применять алгоритмы автоматической классификации			+	
	Владеть:				
16	методами эксплуатации современного информационного		+	+	+

№	Требования к освоению дисциплины и компетенции		Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	оборудования для обработки многомерных (многомерных) данных					
17	практикой применения пакетов прикладных программ по изученной дисциплине			+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:						
	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК				
18	ПК-1. Способен формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их	ПК-1.3. Владеет приемами обработки, анализа, интерпретации и представления результатов эксперимента, навыками подготовки научно-технических отчетов	+	+	+	+
19	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-2.2 Умеет применять информационно-коммуникационные технологии для сбора, структурирования и анализа информации и программно-информационные комплексы для проведения научно-исследовательских работ	+	+	+	+
20	ПК-4. Способен решать исследовательские задачи в области профессиональной деятельности методом математического моделирования	ПК-4.1 Знает принципы построения математических моделей, проверку их достоверности, последние достижения в развитии математического моделирования на основе теории искусственного интеллекта; соотношение математического и физического моделирования	+			+
21		ПК-4.2 Умеет применять метод математического моделирования для решения исследовательских задач в области профессиональной деятельности, оптимизации энерго- и ресурсосберегающих, экологически безопасных химических технологий	+	+	+	+

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

6.1. Практические занятия

Практические занятия в количестве 17 ауд. часов (12,75 астр. часов) предусмотрены рабочей программой дисциплины для проработки лекционного материала и подготовки алгоритмов вычисления для лабораторных работ.

№	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Ауд. часы
1	1	Подготовка данных. Вычислительные алгоритмы для проекционных методов (МГК, МПЛС)	4
2	2	Вычислительные алгоритмы для решения задач градуирования. Критерии для проверки моделей.	5
3	3	Подготовка данных. Вычислительные алгоритмы для решения задач классификации с учителем и без	4
4	4	Вычислительные алгоритмы для реализации методов разрешения многомерных кривых	4
ИТОГО			17

6.2. Лабораторные занятия

Лабораторный практикум по дисциплине «Хеометрика» выполняется в соответствии с Учебным планом в 1 семестре и занимает 34 акад. ч. (25,5 астр. ч.). Лабораторные работы охватывают все разделы дисциплины. В практикум входит 8 работ. В зависимости от трудоёмкости включенных в практикум работ их число может быть уменьшено. Выполнение лабораторного практикума способствует закреплению материала, изучаемого в дисциплине «Хеометрика», а также способствует наработке практических навыков компьютерного моделирования процессов химической технологии и биотехнологии.

Работы выполняются студентами на персональных компьютерах с использованием ПО. Работа выполняется каждым студентом индивидуально.

Максимальное количество баллов за выполнение лабораторного практикума составляет 24 балла (максимально по 3 балла за каждую работу). Количество работ и баллов за каждую работу может быть изменено в зависимости от их трудоемкости.

№ п/п	Темы лабораторных занятий	Часы
1.	Введение. Знакомство программным обеспечением (возможно использование следующего ПО: MS Excel, Mathlab, Octave, Ststistica). Реализация операций матричных вычислений, статистических функций, специальных функций в зависимости от используемого в процессе обучения ПО	2
2.	Реализация проекционных методов анализа данных с использованием ПО на тестовом примере	4
3.	Реализация методов классической и обратной калибровки данных с использованием ПО на тестовом примере	6
4.	Реализация метода калибровки регрессией на главные компоненты и на латентных переменных с использованием ПО на тестовом примере	4
5.	Реализация методов классификации с учителем с использованием ПО на тестовом примере	4
6.	Реализация методов классификации с (продолжение) и без учителя с использованием ПО на тестовом примере	4

7.	Реализация методов факторного анализа для разрешения многомерных кривых с использованием ПО на тестовом примере	6
8.	Реализация итерационных методов факторного анализа для разрешения многомерных кривых с использованием ПО на тестовом примере	4
ИТОГО		34

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

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

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению лабораторных работ по разделам дисциплины;
- выполнение двух домашних работ;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, и работу с электронно-библиотечными системами, изучение международных и российских научных публикаций по теме дисциплины.

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 домашних работ (максимальная оценка 10 баллов), контрольных работ, в формате самостоятельной работы, выполняемой индивидуально на ПК (максимальная оценка 26 баллов), лабораторного практикума (максимальная оценка 24 балла) и итогового контроля в форме зачета с оценкой (максимальная оценка 40 баллов).

8.1. Примерная тематика реферативно-аналитической работы

Реферативно-аналитическая работа по дисциплине «Хеометрика» предусмотрена в формате выполнения двух домашних работ. Максимальное количество баллов за выполнение домашних работ составляет 10 баллов (максимально по 5 баллов за каждую работу).

Примеры домашних работ

Домашняя работа №1

Провести литературный поиск по теме дисциплины «Хеометрика». Заполнить следующую таблицу:

Аналитический метод исследований	Применение метода в области химических технологий (со ссылками на источники, не менее 3)	Для решения каких задач обработки данных применяют методы хеометрики при использовании аналитического метода

Кинетическая спектрофотометрия		
Высокоэффективная жидкостная хроматография		
Ядерно-магнитный резонанс		
БИК-спектроскопия		
ИК-спектроскопия		
НПВО-ИК спектроскопия		
УФ-спектроскопия		
Газовая хромато-масс-спектроскопия		

Пример домашней работы №2

Подберите научную статью, описывающую применение изученных методов хеометрики для решения практических задач в области анализа химико-технологических систем. Внимательно изучите материал, представленный в научной статье. Охарактеризуйте представленные в работе исследования, используя следующий план:

- задача исследований;
- описание анализируемых данных: вид аналитических данных, размерность выборки (количество экспериментальных значений, количество учитываемых факторов/предикторов, соотношение объемов обучающей и тестовой выборок, если было разделение);
- как выполнялась подготовка данных, если в статье нет информации, то необходимо дать свои рекомендации;
- какой метод хеометрики использовался при обработке данных, укажите его преимущества и недостатки;
- какой результат был достигнут исследователями;
- какие еще методы могут применяться для решения описанной в работе задачи.

Объем работы должен быть не менее 2/3 страницы машинописного текста формата А4, но не более 2 стр. (TimesNewRoman, кегль 12, 1,5 междустрочный интервал).

8.2. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 5 самостоятельных работ, выполняемых индивидуально на ПК. Самостоятельная работа №1 охватывает 1 раздел дисциплины; №№2 и 3 – 2 раздел дисциплины; №4 – 3 раздел дисциплины; №5 – 4 раздел дисциплины. Максимальная оценка за самостоятельные работы 26 баллов.

Самостоятельные работы направлены на оценку практических навыков применения изученных методов хеометрики обучающихся (категории «уметь» и «владеть»).

Примеры самостоятельных работ

Варианты работы 1 отличаются только выдаваемыми в электронном виде исходными данными. Варианты работы 2-5 отличаются как исходными данными, так и используемыми методами хеометрического анализа данных. В этом случае варианты распределяются в случайном порядке.

Самостоятельная работа №1.

Максимальная оценка – 5 баллов.

1. Считать данные из файла.
2. Отобразить данные на boxplot диаграмме, сохранить диаграмму как рисунок, вставить

в текстовый редактор и добавить выводы о данных.

3. Провести нормирование данных и отобразить нормированные данные на boxplot диаграмме; сохранить диаграмму как рисунок, вставить в текстовый редактор и добавить выводы о данных.
4. произвести обработку данных, используя метод главных компонент.
5. вставить в текстовый редактор таблицу с коэффициентами и проанализировать первые 4-е компоненты на предмет того, какие именно факторы вносят наибольший вклад в компоненты; подтвердить выводы графиками счетов, выделив на них группы.
6. построить проекции факторных нагрузок в пространстве:
 - 1-2 компонент;
 - 2-3 компонент;
 - 1 и 3 компонент;
 - 1-3 компонент

и провести анализ полученных графиков, а именно, указать наличие и отсутствие прямых и обратных зависимостей между рассматриваемыми значениями; результаты и выводы внести в текстовый файл.

Факторы на графиках должны быть подписаны!

7. Построить диаграмму Парето и по ней сделать вывод о том, сколько компонент достаточно для описания 50 %, 80 % и 90 % дисперсии.
8. Отправьте отчет преподавателю на указанный электронный адрес.

Самостоятельная работа №2

Максимальная оценка – 5 баллов

Вариант 1

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
lambda – вектор, содержащий длины волн
PureA – чистый спектр для вещества А
PureB – чистый спектр для вещества Б
SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)

2. Постройте график чистых спектров для веществ А и Б
3. Используя метод одноканальной калибровки определите коэффициенты уравнений калибровки отдельно для вещества А и отдельно для вещества Б:

$$y = x \cdot b + b_0$$

где Y – спектр; X – концентрация. Возьмите для вещества А канал 30; для вещества Б – канал 90. Используйте для расчета в матлаб функцию polyfit. Сохраните значения констант в файл отчета.

4. Рассчитайте прогнозируемые значения интенсивности (спектра) для каналов 30 и 90, используя в матлаб функцию polyval. Отобразите графики «измерено-предсказано» для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.
5. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций используя выражение:

$$x = \frac{y - b_0}{b}$$

Отобразите графики «измерено-предсказано» для значений концентрация для двух веществ для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.

6. Рассчитайте критерии (используйте значения концентраций) и сохраните их в файл отчета: полную дисперсию остатков, объясненную дисперсию остатков, стандартную

ошибку и коэффициент корреляции для значений концентраций.

7. В файле отчета сделайте вывод о полученных результатах. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 2

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
lambda – вектор, содержащий длины волн
PureA – чистый спектр для вещества А
PureB – чистый спектр для вещества Б
SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)

2. Постройте график чистых спектров для веществ А и Б

3. Используя метод Фирарда определите коэффициенты уравнения калибровки:

$$Y = X \cdot B$$

где Y – значения спектров, X – значения концентраций.

$$B = (X^t \cdot X)^{-1} \cdot X^t \cdot Y$$

При расчетах используйте следующие каналы: 30 для вещества А и 90 для вещества Б. Полученные значения внесите в файл отчета.

4. Рассчитайте прогнозируемые значения интенсивности (спектра) для каналов 30 и 90 для обучающих и тестовых выборок, используя выражение:

$$\hat{Y} = X \cdot B$$

Отобразите графики «измерено-предсказано» для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.

5. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций для обучающих и тестовых выборок, используя выражение:

$$\hat{X} = Y \cdot B^{-1}$$

Отобразите графики «измерено-предсказано» для значений концентрация для двух веществ для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.

6. Рассчитайте критерии (используйте значения концентраций) и сохраните их в файл отчета: полную дисперсию остатков, объясненную дисперсию остатков, среднеквадратичные остатки калибровки, величины смещения, стандартную ошибку и коэффициент корреляции для значений концентраций.
7. В файле отчета сделайте вывод о полученных результатах. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 3

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
lambda – вектор, содержащий длины волн
PureA – чистый спектр для вещества А
PureB – чистый спектр для вещества Б
SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)

SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)

2. Постройте график чистых спектров для веществ А и Б
3. Используя метод не прямой калибровки определите коэффициенты уравнения калибровки:

$$Y = X \cdot B$$

где Y – значения спектров, X – значения концентраций.

$$B = (X^t \cdot X)^{-1} \cdot X^t \cdot Y$$

Полученные значения внесите в файл отчета.

4. Рассчитайте прогнозируемые значения спектра для обучающих и тестовых выборок, используя выражение:

$$\hat{Y} = X \cdot B$$

Отобразите графики экспериментальных и рассчитанных спектров для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.

5. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций для обучающих и тестовых выборок, используя выражение:

$$\hat{X} = Y \cdot B^t \cdot (B \cdot B^t)^{-1}$$

Отобразите графики «измерено-предсказано» для значений концентрация для двух веществ для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.

6. Рассчитайте критерии (используйте значения концентраций) и сохраните их в файл отчета: полную дисперсию остатков, объясненную дисперсию остатков, среднеквадратичные остатки калибровки, величины смещения, стандартную ошибку и коэффициент корреляции для значений концентраций.
7. В файле отчета сделайте вывод о полученных результатах. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 4

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
lambda – вектор, содержащий длины волн
PureA – чистый спектр для вещества А
PureB – чистый спектр для вещества Б
SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
2. Постройте график чистых спектров для веществ А и Б
3. Используя метод множественной линейной регрессии определите коэффициенты уравнения калибровки:

$$Y = X \cdot B$$

где Y – значения концентраций, X – значения спектров.

$$B = (X^t \cdot X)^{-1} \cdot X^t \cdot Y$$

Перед расчетом определите число каналов. Возьмите требуемое количество каналов, начиная с 15 с шагом 10. Полученные значения внесите в файл отчета.

4. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций для обучающих и тестовых выборок, используя выражение:

$$\hat{Y} = X \cdot B$$

Отобразите графики экспериментальных и рассчитанных спектров для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.

5. Рассчитайте критерии (используйте значения концентраций) и сохраните их в файл отчета: полную дисперсию остатков, объясненную дисперсию остатков, среднеквадратичные остатки калибровки, величины смещения, стандартную ошибку и коэффициент корреляции для значений концентраций.
6. В файле отчета сделайте вывод о полученных результатах. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 5.

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
lambda – вектор, содержащий длины волн
PureA – чистый спектр для вещества А
PureB – чистый спектр для вещества Б
SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
2. Постройте график чистых спектров для веществ А и Б
3. Используя пошаговый метод множественной калибровки определите коэффициенты для уравнения калибровки для вещества А:

$$y = x \cdot b$$

где Y – концентрация вещества А; X – значение интенсивности (спектра) для выбранного(ых) канала(ов).

Возьмите для вещества А следующие варианты каналов (всего 5 расчетов):

- а. 24
- б. 24 и 86
- в. 24, 86, 11
- г. 24, 86, 11, 30
- д. 24, 86, 11, 30, 55

Внесите в файл отчета полученные значения коэффициентов.

4. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций для 5 вариантов из п.3 по обучающей выборке и тестовой выборке, используя в матлаб функцию polyval. Внесите полученные значения в файл отчета.
5. Рассчитайте среднеквадратичные остатки для обучающей и тестовой выборки (используйте значения концентраций). Отобразите зависимости среднеквадратичных остатков для обучающей и тестовой выборок от числа взятых каналов. Сохраните график в файл отчета. Добавьте вывод о том, сколько каналов необходимо использовать для калибровки.
6. Для выбранного числа каналов отобразить графики «измерено-предсказано» по значениям концентраций для обучающей и тестовой выборок.
7. В файле отчета сделайте вывод о полученных результатах. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. В теме письма укажите ФИО, группу.

Самостоятельная работа №3

Максимальная оценка – 5 баллов

Вариант 1

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)

lambda – вектор, содержащий длины волн

PureA – чистый спектр для вещества А

PureB – чистый спектр для вещества Б

SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)

SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)

2. Найдите главные компоненты, используя обучающую выборку, и отобразите результаты на графиках счетов и нагрузок. Сохраните графики в файл отчета. Проанализируйте их.
3. Используя метод проекции на главные компоненты постройте по обучающей выборке уравнение калибровки для вещества А. Ограничьтесь первыми 4 главными компонентами.
4. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций для обучающей и тестовой выборок. Отобразите графики «измерено-предсказано» для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.
5. Рассчитайте критерий среднеквадратичного отклонения для всех 4-х вариантов из обучающей выборки и из тестовой выборки. Отобразите результаты в форме гистограмм (команда bar). Сохраните графики в файл отчета.
6. Сделайте выводы по полученным данным. Сколько главных компонент необходимо использовать для калибровки? Обоснуйте ответ. На какой из выборок точность прогноза выше? Обоснуйте.
7. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 2

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
lambda – вектор, содержащий длины волн
PureA – чистый спектр для вещества А
PureB – чистый спектр для вещества Б
SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
2. Постройте проекции на латентные структуры по ВАРИАНТУ 1 (отдельно для вещества А), используя обучающую выборку, и отобразите результаты на графиках счетов и нагрузок. Сохраните графики в файл отчета. Проанализируйте их.
3. Постройте по обучающей выборке уравнение калибровки для вещества А. Ограничьтесь первыми 4 главными компонентами.
4. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций для обучающей и тестовой выборок. Отобразите графики «измерено-предсказано» для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.
5. Рассчитайте критерий среднеквадратичного отклонения для всех 4-х вариантов из обучающей выборки и из тестовой выборки. Отобразите результаты в форме гистограмм (команда bar). Сохраните графики в файл отчета.
6. Сделайте выводы по полученным данным. Сколько главных компонент необходимо использовать для калибровки? Обоснуйте ответ. На какой из выборок точность прогноза выше? Обоснуйте.

7. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 3

1. Загрузите данные в Matlab из файла GradWork1. Ознакомьтесь с данными:
ConcSpectrStudy – значение концентраций для образцов из обучающей выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
ConcSpectrTest – значение концентраций для образцов из тестовой выборки (каждая строка содержит две концентрации: Ca и Cб)
lambda – вектор, содержащий длины волн
PureA – чистый спектр для вещества А
PureB – чистый спектр для вещества Б
SpectrStudy – значения спектров для образцов из обучающей выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
SpectrTest – значения спектров для образцов из тестовой выборки (каждый столбец соответствует спектру 1 смеси)
2. Постройте проекции на латентные структуры по ВАРИАНТУ 2 (используйте данные и для вещества А и для вещества Б одновременно), используя обучающую выборку, и отобразите результаты на графиках счетов и нагрузок. Сохраните графики в файл отчета. Проанализируйте их.
3. Постройте по обучаемой выборке уравнения калибровки для веществ А и Б. Ограничьтесь первыми 4 главными компонентами.
4. Рассчитайте прогнозируемые значения концентраций для обучающей и тестовой выборок. Отобразите графики «измерено-предсказано» для обучающей и тестовой выборок. Сохраните графики в файл отчета.
5. Рассчитайте критерий среднеквадратичного отклонения для всех 4-х вариантов из обучающей выборки и из тестовой выборки. Отобразите результаты в форме гистограмм (команда bar). Сохраните графики в файл отчета.
6. Сделайте выводы по полученным данным. Сколько главных компонент необходимо использовать для калибровки? Обоснуйте ответ. На какой из выборок точность прогноза выше? Обоснуйте.
7. Отправьте отчет на электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Самостоятельная работа № 4

Максимальная оценка – 5 баллов

Вариант 1

1. Загрузите данные в Matlab из файла Work2. Ознакомьтесь с данными:
X – значение признаков объектов
Cl – перечень классов, к которому относится тот или иной объект
2. Проведите классификацию, используя метод k-средних. Рассчитайте 8 циклов. Отобразите полученные на каждом шаге классы и центроиды на графиках в координатах «Признак 1 – Признак 2» и «Признак 3- Признак 4». Полученные диаграммы сохраните в отчет, дайте пояснения.
3. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 2

1. Загрузите данные в матлаб из файла Work1. Ознакомьтесь с данными:
Xs и Xt – значение признаков объектов из обучающей и тестовой выборки соответственно;
Cls b Clt – номера классов, к которым принадлежат объекты из обучающей и тестовой выборок соответственно.

Внимание: обучающая выборка содержит по 38 объектов каждого класса, тестовая выборка содержит по 9 объектов каждого класса.

2. Классификацию проведите, используя метод k-ближайших соседей. Число соседей примите равное 5. Отобразите в отчете в табличной форме данные к какому классу были отнесены образцы из тестовой выборки и к какому классу они принадлежат на самом деле. Сделайте выводы из работы.
3. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 3

1. Загрузите данные в матлаб из файла Work1. Ознакомьтесь с данными:
Xs и Xt – значение признаков объектов из обучающей и тестовой выборки соответственно;
Cls b Clt – номера классов, к которым принадлежат объекты из обучающей и тестовой выборок соответственно.
Внимание: обучающая выборка содержит по 38 объектов каждого класса, тестовая выборка содержит по 9 объектов каждого класса.
2. Классификацию проведите для класса 2, используя метод SIMCA. Примите точность равной 0,95. Отобразите в отчете в табличной форме данные к какому классу были отнесены образцы из тестовой выборки и к какому классу они принадлежат на самом деле. Сделайте выводы из работы.
3. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 4

1. Загрузите данные в Matlab из файла Work1. Ознакомьтесь с данными:
Xs и Xt – значение признаков объектов из обучающей и тестовой выборки соответственно;
Cls b Clt – номера классов, к которым принадлежат объекты из обучающей и тестовой выборок соответственно.
Внимание: обучающая выборка содержит по 38 объектов каждого класса, тестовая выборка содержит по 9 объектов каждого класса.
2. Классификацию проведите для класса 3, используя метод SIMCA. Примите точность равной 0,95. Отобразите в отчете в табличной форме данные к какому классу были отнесены образцы из тестовой выборки и к какому классу они принадлежат на самом деле. Сделайте выводы из работы.
3. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 5

1. Загрузите данные в Matlab из файла Work1. Ознакомьтесь с данными:
Xs и Xt – значение признаков объектов из обучающей и тестовой выборки соответственно;
Cls b Clt – номера классов, к которым принадлежат объекты из обучающей и тестовой выборок соответственно.
Внимание: обучающая выборка содержит по 38 объектов каждого класса, тестовая выборка содержит по 9 объектов каждого класса.
2. Классификацию проведите, используя метод PLSDA. Результаты разделения на классы обучающей и тестовой выборки отобразите графически. Включите диаграммы в отчет. Проанализируйте, правильно ли были отнесены данные из обучающей и тестовой выборок к классам. Сделайте выводы из работы.
3. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 6

1. Загрузите данные в матлаб из файла Work1. Ознакомьтесь с данными:

X_s и X_t – значение признаков объектов из обучающей и тестовой выборки соответственно;

Cl_s и Cl_t – номера классов, к которым принадлежат объекты из обучающей и тестовой выборок соответственно.

Внимание: обучающая выборка содержит по 38 объектов каждого класса, тестовая выборка содержит по 9 объектов каждого класса.

2. Классификацию проведите, используя метод QDA. Результаты разделения на классы обучающей и тестовой выборки отобразите графически. Включите диаграммы в отчет. Проанализируйте, правильно ли были отнесены данные из обучающей и тестовой выборок к классам. Сделайте выводы из работы.
3. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 7

1. Загрузите данные в Matlab из файла Work1. Ознакомьтесь с данными:
 X_s и X_t – значение признаков объектов из обучающей и тестовой выборки соответственно;
 Cl_s и Cl_t – номера классов, к которым принадлежат объекты из обучающей и тестовой выборок соответственно.
Внимание: обучающая выборка содержит по 38 объектов каждого класса, тестовая выборка содержит по 9 объектов каждого класса.
2. Классификацию проведите, используя метод LDA. Предварительно переведите данные в пространство главных компонент. В дальнейших расчетах используйте первые 2 компонента. Отобразите в отчете в табличной форме данные к какому классу были отнесены образцы из тестовой выборки и к какому классу они принадлежат на самом деле. Проанализируйте, правильно ли были отнесены данные из обучающей и тестовой выборок к классам. Сделайте выводы из работы.
3. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Самостоятельная работа № 5

Максимальная оценка – 6 баллов

Вариант 1

1. Загрузите данные в Matlab из файла WorkMCR. Ознакомьтесь с данными:
 A_t , B_t – концентрационные кривые для чистых веществ, $time$ – вектор времени
 A_s , B_s – спектры чистых веществ, $lambda$ – вектор длин волн
 X – данные о смеси
2. Примените к данным метод МГК, рассчитайте сингулярные значения для разного числа компонент. Отобразите график HELP и график сингулярных значений. Сделайте и обоснуйте вывод о количестве чистых веществ в анализируемой смеси.
3. Используя прокрустов анализ проведите разрешение многомерных данных. Отобразите графически полученные концентрационные зависимости чистых веществ и чистых спектров относительно имеющихся истинных данных.
4. Оформите отчет. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 2

1. Загрузите данные в Matlab из файла WorkMCR. Ознакомьтесь с данными:
 A_t , B_t – концентрационные кривые для чистых веществ, $time$ – вектор времени
 A_s , B_s – спектры чистых веществ, $lambda$ – вектор длин волн
 X – данные о смеси
2. Методом эволюционного факторного анализа определите концентрационные окна.
3. Используя оконный факторный анализ проведите разрешение многомерных данных. Отобразите графически полученные концентрационные зависимости чистых веществ и чистых спектров относительно имеющихся истинных данных.

4. Оформите отчет. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 3

1. Загрузите данные в Matlab из файла WorkMCR. Ознакомьтесь с данными:
A_t, B_t – концентрационные кривые для чистых веществ, time – вектор времени
A_s, B_s – спектры чистых веществ, lambda – вектор длин волн
X – данные о смеси
2. Методом эволюционного факторного анализа определите концентрационные окна.
3. Используя итерационный целевой факторный анализ проведите разрешение многомерных данных. Отобразите графически полученные концентрационные зависимости чистых веществ и чистых спектров относительно имеющихся истинных данных.
4. Оформите отчет. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

Вариант 4

1. Загрузите данные в Matlab из файла WorkMCR. Ознакомьтесь с данными:
A_t, B_t – концентрационные кривые для чистых веществ, time – вектор времени
A_s, B_s – спектры чистых веществ, lambda – вектор длин волн
X – данные о смеси
2. Методом эволюционного факторного анализа определите концентрационные окна.
3. Используя метод чередующихся наименьших квадратов проведите разрешение многомерных данных. Отобразите графически полученные концентрационные зависимости чистых веществ и чистых спектров относительно имеющихся истинных данных.
4. Оформите отчет. Отправьте отчет на указанный электронный адрес. Приложите программный код в формате скрипта. В теме письма укажите ФИО, группу.

8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (зачет с оценкой, 1 семестр)

Зачет с оценкой по дисциплине включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет включает 2 вопроса, оцениваемых максимально в 20 баллов каждой.

Максимальная оценка – 40 баллов.

Перечень вопросов

1. Хемометрика, как научная дисциплина. Цели и задачи хемометрики. Практическое применение.
2. Стадии аналитического процесса и присущие им погрешности.
3. Метод контролируемого обучения в многомерном анализе данных.
4. Способы уменьшения суммарной дисперсии (погрешности) пробоотбора и анализа.
5. Определение необходимого и достаточного объема обучающей выборки в контролируемом обучении.
6. Способы достижения репрезентативности пробы при пробоотборе.
7. Меры сходства и расстояния, применяемые в кластерном анализе.
8. Процедура подготовки пробы к анализу. Роль концентрирования аналита.
9. Виды и источники погрешности результатов измерения и обработки данных анализа. Способы увеличения отношения «сигнал/шум».
10. Определение дискриминирующего отношения в многомерном анализе данных.
11. Методы обнаружения сигналов. Различие сигналов аналита и фона.
12. Нормирование и центрирование данных в многомерном анализе.
13. Определение предела обнаружения аналита в пробе. Точное оценивание предела обнаружения.

14. Естественное нормирование данных и нормирование сравнением. Мера их информативности.
15. Установление и проверка гипотез о наличии (или отсутствии) аналита в пробе.
16. Определение необходимого и достаточного объема выборки для достижения заданной точности по неравенству Чебышева.
17. Линейная калибровка приборов. Калибровка по эталону.
18. Определение необходимого и достаточного объема выборки для достижения заданной точности.
19. Линейная регрессия в хемометрике. Сравнительный анализ метода наименьших квадратов и метода максимального правдоподобия.
20. Многомерный подход к анализу данных. Ковариантность измерений.
21. Какой физический смысл и в какой ситуации могут иметь коэффициенты уравнения структурной регрессии.
22. Наложение недостающих и избыточных данных в результатах измерения. Изменение положения данных относительно осей координат.
23. Модель факторного анализа. Смысл условия:
24. $(f^k, f^l) = \begin{cases} N, & \text{если } k = l \\ 0, & \text{если } k \neq l \end{cases}$
25. Масштабное и автомасштабное преобразование данных.
26. Метод вращения собственного вектора. Алгоритм определения собственных чисел и собственных векторов матрицы.
27. Методы и алгоритмы сжатия априорной информации.
28. Почему уравнение регрессии не содержит априорной информации? Каким образом выбирают базисные функции в методе линейной регрессии.
29. Каковы условия, позволяющие отличить сигнал аналита от сигнала фона.
30. Каковы причины появления корреляции переменных при выполнении операций нормирования и центрирования над векторами матрицы данных.
31. Как определить, можно ли принять выборочные параметры нормального распределения в качестве оценок генеральной совокупности.
32. Проекционные методы: проекция на латентные структуры.
33. Обнаружение аналитических сигналов. Неопределенность. Изменение расстояния между средними при уменьшении концентрации аналита. Правило 3σ
34. Калибровка. Проблема мультиколлинеарности. Подготовка данных.
35. Точечное оценивание предела обнаружения сигнала. Вероятность ошибки при сближении сигналов.
36. Классические методы калибровки: калибровка по одному каналу, метод Фирорда, непрямая калибровка.
37. Ошибки обнаружения аналита I и II рода. Кайзеровский предел обнаружения сигнала.
38. Обратная калибровка: множественная линейная регрессия, пошаговая калибровка.
39. Точечное оценивание предела обнаружения t-тестом.
40. Регрессия на латентные структуры (два варианта, отличия).
41. Критерий Вилкоксона. Точность предела обнаружения.
42. Классификация. Постановка задачи. Основные методы. Проверка гипотез.
43. Сглаживание данных. Методы блочного усреднения, движущегося окна и полиномиального сглаживания данных.
44. Проскрутов анализ.
45. Регрессионный анализ. Метод наименьших квадратов.
46. Линейный дискриминантный анализ.
47. Регрессионный анализ. Метод максимального правдоподобия.
48. Итерационный целевой факторный анализ.
49. Проекционные методы: метод главных компонент.

50. Чередующиеся наименьшие квадраты.
51. Калибровка (градуирование): определение и решаемые практические задачи. Математическая постановка задачи калибровки.
52. Формальное независимое моделирование аналогий классов.
53. Линейные и нелинейные методы калибровки: области применения. Проверка моделей.
54. Метод k-ближайших соседей.
55. Оценка качества моделей в хемометрике. Основные применяемые оценки, что они отражают.
56. Оконный факторный анализ.
57. Калибровка: неопределенность, точность, воспроизводимость. Недооценка и переоценка параметров: Н-принцип.
58. Кластеризация с помощью k-средних.
59. Классификация. Подготовка данных. Ошибки. Обучение и проверка. Проклятие размерности.
60. Эволюционный факторный анализ.
61. Постановка задачи разрешения многомерных кривых. Неопределенность.
62. Квадратичный дискриминантный анализ.
63. Методы разрешения многомерных кривых.
64. PLS-дискриминация.

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

8.4. Структура и пример билета для зачёта с оценкой

Зачет с оценкой по дисциплине «Хемометрика» проводится в 1 семестре и включает контрольные вопросы по разделам 1-4 рабочей программы дисциплины. Билет для зачета с оценкой состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам. Ответы на вопросы зачета с оценкой оцениваются из максимальной оценки 40 баллов следующим образом: максимальное количество баллов за первый вопрос – 20 баллов, второй – 20 баллов.

Примеры билетов для зачёта с оценкой:

«Утверждаю» зав. кафедрой ХФИ	Министерство науки и высшего образования РФ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева
_____	Кафедра химического и фармацевтического инжиниринга
Н.В. Меньшутина	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
«__» _____ 20__ г.	технологии, нефтехимии и биотехнологии Магистерская программа – «Кибернетика для инновационных технологий»

БИЛЕТ №1

1. Линейная регрессия в хемометрике. Сравнительный анализ метода наименьших квадратов и метода максимального правдоподобия.
2. Многомерный подход к анализу данных. Ковариантность измерений.

«Утверждаю»
зав. кафедрой ХФИ

Н.В. Меньшутина
«__» _____ 20__ г.

Министерство науки и высшего образования РФ
Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева

Кафедра химического и фармацевтического инжиниринга
18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии
Магистерская программа –
«Кибернетика для инновационных технологий»

БИЛЕТ №2

1. Модель факторного анализа. Смысл условия:

$$(f^k, f^l) = \begin{cases} N, & \text{если } k = l \\ 0, & \text{если } k \neq l \end{cases}$$

Масштабное и автомасштабное преобразование данных.

2. Метод вращения собственного вектора. Алгоритм определения собственных чисел и собственных векторов матрицы.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Рекомендуемая литература

А) Основная литература:

1. Шачнева Е.Ю. Хемометрика. Базовые понятия: учебно-методическое пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 160 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/90051/#1> (дата обращения: 15.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Гордиенко М.Г. Основы работы и программирования в среде MATLAB: учеб. пособие // М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – 79 с., ISBN 978-5-7237-1259-1.
3. Измерения. Статистическая обработка результатов пассивного и активного экспериментов в биотехнологии: учебное пособие / М. Г. Гордиенко [и др.]. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. - 105 с.

Б) Дополнительная литература:

1. Шараф М.А. Хемометрика./ М.А. Шараф, Д.Л. Иллмэн, Б.Р. Ковальски. – Л.: Химия. 1989. – 272 с.

9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Презентации к лекциям.
 - Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.
- Научно-технические журналы:
- «Журнал аналитической химии». ISSN: 0044-4502.
 - «Химическая технология». ISSN: 1684-5811.
 - «Контроль качества продукции». ISSN: 2541-9900.
 - «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика». ISSN: 2073-0004.
 - «Программные продукты и системы». ISSN (печатной версии): 0236-235X, ISSN (электронной версии): 2311-2735.

9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины

Для реализации учебной программы подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

1. Программное обеспечение:

- Пакет прикладных программ Octave (свободно распространяемое ПО);
- Пакет прикладных программ MATLAB (лицензия РХТУ);
- ПО Excel из пакета Microsoft Office (лицензия РХТУ).

2. Электронные конспекты лекций, теоретические положения и примеры выполнения лабораторных работ, задания по лабораторным работам.

Подготовлены варианты заданий для выполнения лабораторных работ, направленных на приобретение студентами навыков обработки информации с применением методов хемометрики.

При использовании электронного обучения и дистанционных образовательных технологий занятия полностью или частично проводятся в режиме онлайн. При этом первый пункт списка дополняется или заменяется на доступ к групповым чатам (WhatsApp), к вебинарам или онлайн-конференции (webinar.ru, zoom.us), к каналам, содержащим видео-презентации (youtube.ru).

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 01.01.2025 составляет 1 563 142 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 проводятся в форме лекций, практических занятий, лабораторных занятий и самостоятельной работы студента.

11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе

Учебная аудитория для проведения лекций и практических занятий вместимостью не менее 20 человек, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Компьютерный класс, насчитывающий не менее 20 посадочных мест, с предустановленным лицензионным программным обеспечением (см. п. 11.4) и выходом в Интернет для выполнения и контроля РГР.

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

11.2. Учебно-наглядные пособия

По дисциплине «Хеометрика» доступны учебные материалы. Доступны комплексы лабораторных работ и требования к отчетам, варианты заданий, руководство по выполнению работ.

Организован доступ к свободно распространяемым образовательным порталам и сайтам для использования информационно-справочных ресурсов. Студенты могут использовать данные электронные ресурсы для самостоятельной подготовки, а в последующем – при выполнении научно-исследовательской работы и написания выпускной квалификационной работы.

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

На кафедре ХФИ, где проводится занятие, имеется в достаточном количестве персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, USB-портами, принтерами, многофункциональными устройствами и программными средствами; мультимедийное проекционное оборудование; веб-камеры; цифровой фотоаппарат; копировальные аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет; беспроводная точка доступа в локальную сеть и сеть Интернет.

11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы

На кафедре ХФИ используются информационно-методические материалы: инструкции по технике безопасности в компьютерном классе; учебные пособия по дисциплинам; методические рекомендации к практическим занятиям; электронные учебные пособия; кафедральные библиотеки электронных изданий; электронные презентации к разделам лекционных курсов; учебно-методические разработки кафедр в электронном виде; видеоуроки к разделам дисциплин.

На кафедре ХФИ используются электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; электронные конспекты лекций; учебно-методические разработки в электронном виде; демонстрационные программы; специализированное программное обеспечение; справочные материалы в электронном виде.

11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения

На кафедре ХФИ, где проводятся занятия, имеется учебная аудитория с 10 компьютерами. Все компьютеры укомплектованы проигрывателями DVD, USB-портами и имеют доступ к сети Интернет. Для самостоятельной работы студентов и выполнения ими лабораторных работ требуется лицензионное программное обеспечение, установленное на компьютерах:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Windows 8.1	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License,	24	Бессрочно

	Professional Get Genuine	Номер лицензии 62795478		
2	Microsoft Office Standard 2013	Контракт № 62-64ЭА/2013, Microsoft Open License Номер лицензии 47837477	24	Бессрочно

12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Обнаружение и обработка сигналов. Проекционные методы анализа данных	Знает: предмет и методы хемометрики; основы теории и методы измерений; методы обнаружения и обработки сигналов. Умеет: интерпретировать результаты измерений, оценивать их погрешность, формировать матрицы данных; выполнять статистическую обработку информации.	Оценка за лабораторные работы №№1-2 Оценка за самостоятельную работу №1 Оценка за домашнюю работу №1 Оценка на зачете
Раздел 2. Градуирование (калибровка)	Знает: предмет и методы хемометрики; методы обнаружения и обработки сигналов; смысл операции градуирования и применяемые методы; основные свойства корреляционной матрицы, структурные методы регрессионного анализа. Умеет: интерпретировать результаты измерений, оценивать их погрешность, формировать матрицы данных; выполнять статистическую обработку информации; выбирать адекватный метод градуирования и применять калибровочные кривые в химическом анализе; разрабатывать и практически применять алгоритмы обработки информации. Владеет: методами эксплуатации современного информационного оборудования для обработки многомерных (многомерных) данных; практикой применения пакетов прикладных программ по изученной дисциплине.	Оценка за лабораторные работы №№3-4 Оценка за самостоятельные работы №№ 2 и 3 Оценка на зачете
Раздел 3. Классификация	Знает: предмет и методы хемометрики; методы распознавания образов, кластерного анализа. Умеет: интерпретировать результаты измерений, оценивать их погрешность, формировать матрицы данных; выполнять статистическую обработку информации; разрабатывать и практически применять алгоритмы обработки информации; определять сложность сигналов и выполнять их разрешение; разрабатывать и применять алгоритмы автоматической	Оценка за лабораторные работы №№5-6 Оценка за самостоятельную работу №4 Оценка на зачете

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
	классификации. Владеет: методами эксплуатации современного информационного оборудования для обработки многомодальных (многомерных) данных; практикой применения пакетов прикладных программ по изученной дисциплине.	
Раздел 4. Разрешение многомерных кривых	Знает: предмет и методы хемометрики; методы обнаружения и обработки сигналов; назначение стохастического факторного анализа, устойчивость статистического оценивания; методы разложения сложных сигналов на простые. Умеет: интерпретировать результаты измерений, оценивать их погрешность, формировать матрицы данных; выполнять статистическую обработку информации; разрабатывать и практически применять алгоритмы обработки информации; разрабатывать и практически применять алгоритмы различных вариантов факторного анализа; определять сложность сигналов и выполнять их разрешение. Владеет: методами эксплуатации современного информационного оборудования для обработки многомодальных (многомерных) данных; практикой применения пакетов прикладных программ по изученной дисциплине.	Оценка за домашнюю работу №2 Оценка за лабораторные работы №№7-8 Оценка за самостоятельную работу №5 Оценка на зачете

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
«Хеометрика»
 основной образовательной программы
 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
 и биотехнологии
 Магистерская программа
 «Кибернетика для инновационных технологий»
 Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
2		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
3		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: Лемешев Дмитрий Олегович
 Проректор по учебной работе,
 Ректорат

Подписан: 24:01:2026 15:33:10