

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП ВО
доцент В.Ю. Бажин

Проректор по образовательной
деятельности Д.Г. Петраков

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ

Уровень высшего образования:	Магистратура
Направление подготовки:	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
Направленность (профиль):	Системы автоматизированного управления в металлургии
Квалификация выпускника:	магистр
Форма обучения:	очная
Составитель:	П.А. Петров

Санкт-Петербург

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование объектов и систем управления» разработана:

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», утвержденного приказом Минобрнауки России № 1452 от 25.11.2020 г.;

- на основании учебного плана магистратуры по направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», направленность (профиль) «Системы автоматизированного управления в металлургии».

Составитель _____ к.т.н., декан ФПМС П.А. Петров

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры автоматизации технологических процессов и производств от 08.02.2022 г., протокол № 11.

Заведующий кафедрой АТПП _____ В.Ю. Бажин

Рабочая программа согласована:

Начальник управления учебно-методического обеспечения образовательного процесса _____ к.т.н. Иванова П.В.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «Математическое моделирование объектов и систем управления» является формирование у студентов базовых знаний о методах моделирования объектов отраслей промышленности, об общих принципах построения технологических схем; о методике вычислительного эксперимента и оценке адекватности моделей; о применении численных методов для анализа и расчета технологических схем и исследовании их функционирования с целью выбора оптимальных систем управления, контуров регулирования и определения параметров настроек регуляторов; об использовании компьютерных методов расчета свойств сырьевых материалов и промежуточных продуктов; приобретение знаний и навыков использования специализированного программного обеспечения, применяемого на технологических предприятиях и проектных организациях для моделирования и оптимизации цепей аппаратов и систем управления ими.

Задачами дисциплины являются:

- изучение основ системного анализа и синтеза сложных технологических схем совместно с локальными и общесистемными средствами регулирования;
- умение применять методы разработки технологических схем и систем управления с использованием специализированных программных пакетов, а также использование систем управления при организационно-управленческой деятельности; поиска оптимальных решений при создании продукции, разработке автоматизированных технологий и производств с учетом требований качества, надежности и безопасности.
- формирование представлений о методах расчетов свойств смесей и фазовых переходов на основании свойств отдельных компонентов;
- изучение математического описания основных технологических процессов;
- изучение методов моделирования процессов;
- формирование навыков по разработке математического описания технологических процессов с использованием современных программных средств моделирования жизненного цикла продукции;
- проведение технических расчетов по проектам автоматизированных технологических производств;
- подготовка геометрических моделей для реализации в технологиях виртуальной и дополненной реальности.
- проведение вычислительного эксперимента с применением цифровых двойников технологических объектов в металлургии;
- формирование навыков разработки технологических схем совместно с системами автоматического управления и математических моделей непрерывных, периодических и полунепрерывных процессов с использованием современных технологий проведения научных исследований;
- формирование способностей для организации комплексных работ по проведению разработки и проектированию технологических схем на основе использования методов математического моделирования;
- формирование мотивации к самостоятельному повышению уровня профессиональных навыков в области математического моделирования и оптимального управления производственными комплексами.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование объектов и систем управления» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки «15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств» и изучается в 1-ом и во 2-м семестрах.

Дисциплина «Математическое моделирование объектов и систем управления» является основополагающей для изучения дисциплин: «Специальные системы управления в металлургии», «Интегрированные системы проектирования и управления автоматизированных и автоматических производств», «Компьютерные технологии автоматизации и управления», «Компьютерное моделирование динамических систем в металлургии».

Особенностью дисциплины является практика применения изучаемых систем управления и методов математического моделирования объектов в металлургии.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Математическое моделирование объектов и систем управления» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий	УК-1	УК-1.1. Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации. УК-1.2. Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации. УК-1.3. Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий.
Способен изучать, анализировать и применять научно-техническую информацию для выполнения научно-исследовательской работы	ПКС-4	ПКС-4.1. Знает: основные понятия, категории и методы научных исследований; этапы проведения научно-технического исследования
Способен проводить математическое моделирование технологических процессов и систем управления в рамках научных исследований	ПКС-5	ПКС-5.1. Умеет задавать условия функционирования технологических схем и необходимых расчетных методов, обеспечивающих определение оптимальных условий с использованием критериев оптимизации и математических методов оптимизации;

Формируемые компетенции		Код и наименование индикатора достижения компетенции
Содержание компетенции	Код компетенции	
		<p>ПКС-5.2. Умеет использовать специализированные программные пакеты при расчете материальных и тепловых балансов сложных химико-технологических схем; применять методы решения математических задач с использованием различных вычислительных средств;</p> <p>ПКС-5.3. Владеет навыками анализа технологических схем и разработки схем автоматизации для стационарных и динамических режимов производственных процессов</p> <p>ПКС-5.4. Владеет методами конечных элементов для разработки математических моделей процессов</p>

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость учебной дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам	Ак. часы по семестрам
		1	2
Аудиторные занятия, в том числе:	99	51	48
Лекции	33	17	16
Практические занятия (ПЗ)	66	34	32
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-
Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе	153	93	60
Выполнение курсовой работы (проекта)	36	-	36
Подготовка к семинарским занятиям	-	-	-
Подготовка к практическим занятиям	117	93	24
Подготовка к лабораторным занятиям	-	-	-
Промежуточная аттестация – зачет (З), курсовая работа (КР)	3, КР	3	3, КР
Общая трудоемкость дисциплины	-	-	-
	ак. час.	252	144
	зач. ед.	7	4
			3

4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия, самостоятельная работа и курсовая работа.

4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование разделов	Виды занятий				
		Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студента, в том числе курсовая работа
1.	Раздел 1. Основные понятия моделирования объектов и систем управления.	6	2	-	-	4
2.	Раздел 2. Историческое развитие методов компьютерного моделирования технологических процессов.	25	5	4	-	16
3.	Раздел 3. Типы математических моделей технологических процессов.	20	2	6	-	12
4.	Раздел 4. Общие принципы создания математических моделей технологических процессов при помощи специализированных программных средств.	50	6	12	-	32
5.	Раздел 5. Построение моделей технологических объектов с применением метода конечных элементов.	55	4	16	-	35
6.	Раздел 6. Моделирование типовых технологических процессов и аппаратов с использованием цифровых технологий.	48	6	14	-	28
7.	Раздел 7. Моделирование систем управления технологическими процессами.	26	4	6	-	16
8.	Раздел 8. Усовершенствованные системы контроля, управления и оптимизации.	22	4	8	-	10
	Итого:	252	33	66	-	153

4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1.	Основные понятия моделирования объектов и систем управления.	Цели и задачи курса. Связь с другими дисциплинами. Организация изучения дисциплины. Модель. Моделирование. Классификация моделей. Математическое моделирование. Системный подход. Сложная система. Цель, структура и элементный состав системы. Системный анализ. Выделение относительно автономных частей системы. Установление связей с другими частями. Декомпозиция системы на составные части. Системный синтез. Составление модели сложного технологического объекта как сложной системы на основе системного анализа и синтеза. Схема построения математической модели технологического процесса на основе физического описания природы объекта. Этапы вычислительного эксперимента. Компьютерное моделирование.	2
2.	Историческое развитие методов компьютерного моделирования технологических процессов.	Основные исторические этапы развития компьютерного моделирования химико-технологических процессов. Балансные модели. Персональные компьютеры и универсальные моделирующие программы. Технологическая и экономическая оптимизация. Перспективы компьютерного моделирования объектов и систем управления. Краткий обзор математических и специальных пакетов, используемых для моделирования технологических объектов и процессов.	5
3.	Типы математических моделей технологических процессов.	Фундаментальные физические и химические законы как основа для математического моделирования: превращение массы, энергии, законы движения. Математические модели основных объектов технологических процессов: модель идеального вытеснения, идеального перемешивания, диффузионная модель, ячеечная модель, комбинированные модели.	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
4.	Общие принципы создания математических моделей технологических процессов при помощи специализированных программных средств.	Методы расчета термодинамических свойств. Общая последовательность действий при создании модели технологического процесса в специализированном ПО. Термодинамические данные, методы расчета термодинамических свойств. Программные комплексы AVEVA PRO/II Process Engineering, AVEVA DYN SIM Dynamic Simulation. Модель объекта в компьютерном тренажерном комплексе: цели, задачи. Модели объектов, пользовательские модели. Программирование пользовательских функций на языке C++, Visual Basic.	6
5.	Построение моделей технологических объектов с применением метода конечных элементов.	Численные методы моделирования технологических систем. Понятие метода конечных элементов, преимущества и недостатки конечно-элементного анализа. Области исследования и примеры инженерных приложений метода. Процесс разработки автоматизированного продукта. Порядок численного моделирования технологических объектов, материалов и продуктов. Программный комплекс ANSYS Workbench. Схема проекта, панель инструментов. Механический анализ конструкций. Моделирование гидродинамических процессов в ANSYS Fluent: постановка задачи, настройка решателя, постпроцессинг. Технологии виртуальной и дополненной реальности для анализа и представления результатов моделирования трехмерных моделей технологических объектов.	4
6.	Моделирование типовых технологических процессов и аппаратов с использованием цифровых технологий.	Использование информационно-моделирующих программных продуктов для проектирования технологических схем. Способы задания аппаратов и схемы соединения аппаратов в информационно-моделирующих программах. Задание информации о потоках и аппаратах технологической схемы. Выбор методов расчета свойств минералов и промежуточных продуктов. Анализ действующих производств с помощью программных пакетов. Проектирование оптимальных схем с помощью информационно-моделирующих программ.	6

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
7.	Моделирование систем управления технологическими процессами	Основные понятия теории управления. Объект управления, его параметры. Определение характера возмущений и каналов возмущений. Определение коэффициентов усиления объекта по различным каналам управления и выбор наиболее чувствительного канала управления. Определение передаточных функций отдельных каналов управления и выбор наименее инерционного канала. Исследование реакции объекта на различные возмущения при использовании выбранного канала управления. Синтез системы управления технологическим процессом на основе обратной связи. Датчик. Управляющее устройство. Исполнительный механизм. Настройка регулятора.	4
8.	Усовершенствованные системы контроля, управления и оптимизации	Регулирование соотношений. Каскадное управление. Управление по вычисляемой переменной. Приоритетное управление. Адаптивное управление. Оптимальная система, оптимальное управление, оптимальная траектория, краевые условия, цель управления, критерий оптимальности, функционал. Методы оптимизации. Разработка алгоритма оптимального управления.	4
Итого:			33

4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1.	Раздел 2	Основы приемы работы и моделирование теплообменного оборудования в пакете AVEVA PRO/II Process Engineering.	2
2.	Раздел 2	Моделирование растворов электролитов.	2
3.	Раздел 3	Моделирование основных типов реакторов: идеального перемешивания, вытеснения, конверсионный реактор, равновесный реактор.	2
4.	Раздел 3	Моделирование технологических процессов при помощи AVEVA DYN SIM Dynamic Simulation.	2
5.	Раздел 3	Моделирование процесса измельчения твердого тела.	2
6.	Раздел 4	Моделирование процессов сушки и сжигания угля.	6
7.	Раздел 4	Определение параметров продукции, обеспечивающих максимизацию прибыли технологического процесса.	6
8.	Раздел 5	Моделирование контуров управления и анализ переходных процессов с использованием AVEVA DYN SIM Dynamic Simulation.	10
9.	Раздел 5	Основы приемы работы в пакете ANSYS.	6
10.	Раздел 6	Построение конечно-элементных моделей технологических объектов в пакете ANSYS.	6

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
11.	Раздел 6	Механический анализ технологического оборудования в ANSYS Mechanical.	8
12.	Раздел 7	Разработка гидродинамических моделей технологических процессов в ANSYS Fluent.	6
13.	Раздел 8	Динамический анализ технологического процесса.	8
Итого:			66

4.2.4. Лабораторные работы

Лабораторные занятия не предусмотрены.

4.2.5. Курсовые работы

№ п/п	Тематика курсовых работ
1.	Моделирование теплового поля трубчатой вращающейся печи с помощью метода конечных элементов в системе САЕ.
2.	Моделирование механической нагрузки, действующей в агрегате с помощью метода конечных элементов в системе САЕ.
3.	Моделирование движения жидкости с помощью метода конечных элементов в системе САЕ (по вариантам).
4.	Моделирование технологического объекта и контуров управления с использованием специализированного программного обеспечения (по вариантам).
5.	Моделирование и управление пневматическим транспортированием сыпучих материалов (по вариантам).
6.	Настройка регуляторов динамического объекта (по вариантам).
7.	Моделирование теплового поля доменной печи с помощью метода конечных элементов в системе САЕ.
8.	Моделирование теплового поля печи Ванюкова с помощью метода конечных элементов в системе САЕ.
9.	Моделирование теплового поля электролизера с помощью метода конечных элементов в системе САЕ.
10.	Моделирование гидродинамики шлако-штейнового расплава в горизонтальном конвертере в системе САЕ.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

Лекции, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся. Цели лекционных занятий:

- дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;

- стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

Практические занятия. Цели практических занятий:

- совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

Консультации (текущая консультация, накануне зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала

дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Курсовая работа позволяет обучающимся развить навыки научного поиска.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

6.1.1 Тематика для самостоятельной подготовки

Раздел 1. Основные понятия моделирования объектов и систем управления.

1. Какие функции выполняют модели в различных видах деятельности?
2. Чем объясняется существование различных определений системы?
3. Чем большая система отличается от сложной системы?
4. Требования к моделям систем?
5. Общие понятия теории моделирования.

Раздел 2. Историческое развитие методов компьютерного моделирования технологических процессов.

1. Основные исторические этапы развития компьютерного моделирования технологических процессов.
2. Перспективы компьютерного моделирования динамических систем.
3. История возникновения прикладного программного обеспечения для моделирования технологических процессов.
4. Зарубежное специализированное программное обеспечение.
5. Отечественные разработки прикладных программ.

Раздел 3. Типы математических моделей технологических процессов.

1. Назовите этапы математического моделирования систем.
2. Приведите основные принципы построения математических моделей систем.
3. Виды моделирования. Концептуальное, физическое, структурно-функциональное.
4. Методы получения математических моделей технических систем.
5. Математические схемы моделирования систем. Формализация и алгоритмизация процессов функционирования систем.

Раздел 4. Общие принципы создания математических моделей технологических процессов при помощи специализированных программных средств.

1. Методы расчета термодинамических свойств.
2. Общая последовательность действий при создании модели процесса в специализированном ПО.
3. Способы построения технологических схем.
4. Состав универсальных моделирующих программ.
5. Термодинамические данные компонентов смеси.

Раздел 5. Построение моделей технологических объектов с применением метода конечных элементов.

1. Метод конечных элементов.
2. Порядок моделирования объектов производства, материалов в конечноэлементном анализе.
3. Порядок моделирования в конечноэлементном анализе.
4. Задание свойств и моделей материалов.
5. Типы пространственных сеток.

6. Моделирование теплообменного оборудования.
7. Сгустители.

Раздел 6. Моделирование типовых технологических процессов и аппаратов с использованием цифровых технологий.

1. Программный пакет Simsci PRO/II.
2. Обзор САД пакетов для моделирования методом конечных элементов.
3. Применение программного пакета ANSYS для расчета процессов.
4. Способы задания аппаратов в информационно-моделирующих программах.
5. Задание информации о потоках и аппаратах технологической схемы.
6. Моделирование реакторного оборудования.
7. Материальные и энергетические балансы технологических процессов.

Раздел 7. Моделирование систем управления технологическими процессами.

1. Преобразование подобия. Константы и критерии подобия.
2. Основные формы представления моделей систем управления.
3. Методы построения моделей объектов и систем управления на основе законов сохранения.
4. Принцип балансовых соотношений.
5. Виды планов экспериментов. Полный факторный эксперимент (ПФЭ).

Раздел 8. Усовершенствованные системы контроля, управления и оптимизации.

1. Какими уравнениями описываются модели нелинейных статических систем?
2. Какими уравнениями описываются модели нелинейных динамических систем?
3. Автоматизированная система моделирования. Пакеты прикладных программ моделирования.
4. Моделирующие комплексы. Достоинства и недостатки вычислительных средств.
5. Машинный эксперимент. Цель машинного эксперимента. Основная и частные задачи планирования задачи. План эксперимента

6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (зачета)

6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий для подготовки к зачету (по дисциплине):

1. Назовите этапы математического моделирования систем.
2. Приведите основные принципы построения математических моделей систем.
3. Какие важные требования к моделям систем?
4. Какими уравнениями описываются модели линейных статических систем?
5. Когда приходится применять уравнения в частных производных для описания моделей?
6. Чем удобен метод переменных состояния для моделирования динамики систем?
7. Какие системы называются стохастическими?
8. Моделирование как один из основных методов познания.
9. Виды моделирования. Концептуальное, физическое, структурно-функциональное, математическое, имитационное моделирование.
10. Классификация моделей по характеру и способу использования.
11. Методы получения математических моделей технических систем.
12. Метод переменных состояния.
13. Постановка задачи построения математической модели объекта управления.
14. Типовые модели линейных систем и их характеристики.
15. Имитационное моделирование непрерывных линейных динамических систем.
16. Основные понятия теории моделирования сложных систем.
17. Математические схемы моделирования систем. Формализация и алгоритмизация процессов функционирования систем.
18. Принципы построения моделирующих алгоритмов.
19. Общая структура программных средств автоматизации моделирования сложных динамических систем. Средства редактирования математической модели.
- 20.

21. Модели и моделирование. Объект моделирования; модель, её назначение и функции; частные модели.
22. Роль модели в процессе познания. Цели и проблемы моделирования систем.
23. Натурный (физический) и вычислительный эксперименты.
24. Классификация моделей и виды моделирования
25. Общая схема разработки математических моделей объектов и систем управления.
26. Этапы математического моделирования.
27. Основные подходы к построению математических моделей систем. Формальная модель объекта.
28. Изоморфные модели.
29. Применение преобразования подобия при моделировании.
30. Методы представления математических моделей систем управления с сосредоточенными и распределенными параметрами.
31. Основные понятия и определения модели сложной системы. Хаотические модели.
32. Алгоритмизация моделей систем и их машинная реализация. Принципы построения моделирующих алгоритмов.
33. Формы представления моделирующих алгоритмов.
34. Получение и интерпретация результатов моделирования систем. Особенности получения результатов моделирования.
35. Сущность метода статистического моделирования. Примеры статистического использования.
36. Основы классификации языков моделирования.
37. Банк данных моделирования
38. Основные понятия планирования экспериментов. цель эксперимента фактор, реакция, уровни, факторное пространство. Характеристики фактора.
39. Модели планирования в виде алгебраических полиномов.
40. Показатели эффективности машинного эксперимента, точность оценки, достоверность оценки.
41. Общая концепция универсальной моделирующей программы.
42. Главное и принципиальное затруднение для использования оптимизационных процедур.
43. Преимущества динамического моделирования.
44. Стандарт Care-Open. Взаимодействие моделирующих программ различных разработчиков.
45. Состав универсальных моделирующих программ.
46. Что в себя включают термодинамические данные по чистым компонентам?
47. Назначение обобщенных методов корреляции.
48. Методы коэффициентов активности жидкости.
49. Уравнение NRTL.
50. Общая последовательность действий при создании модели ХТП в специализированном ПО.
51. Моделирование технологического аппарата – кожухотрубчатый теплообменник.
52. Моделирование технологического аппарата – печь.
53. Моделирование технологического аппарата – компрессор.
54. Моделирование технологического аппарата – насос.
55. Равновесный реактор.
56. Реактор идеального вытеснения.
57. Калькулятор потока.
58. Контроллер с обратной связью.
59. Принципы метода конечных элементов.
60. За счет чего повышается точность расчета методом конечных элементов?
61. Примеры математических моделей, наиболее часто встречающихся и решаемых с помощью МКЭ.

62. Приведите примеры моделей материалов, используемых в расчетах МКЭ.
63. Этапы конечно-элементного моделирования.
64. Математическая постановка задачи.
65. Создание (импорт) геометрической модели исследуемого объекта.
66. Способы импорта геометрической модели в расчетный модуль или модуль геометрии ANSYS.
67. Способы упрощения и исправления модели.
68. Создание вычислительной сетки в Ansys Workbench.
69. Процессоры программы ANSYS.
70. Способы твердотельного моделирования в ANSYS.
71. Какие команды используются при сложении и вычитании объемов?
72. В каких случаях используют равномерную сетку разбиения?
73. В каких случаях используют неравномерную сетку разбиения?

6.2.2. Примерные тестовые задания к зачету

Вариант 1

№	Вопросы	Варианты ответов
1.	С чем связан первый этап компьютерного моделирования?	<ol style="list-style-type: none"> 1. С переводом расчета материальных и тепловых балансов технологических схем с ручного на компьютерный. 2. С появлением механических решающих устройств. 3. Оптимизационные процедуры стали применяться не только для расчета отдельных вариантов, но и для оптимизации технологических в статике. 4. С выходом программного комплекса Aspen Plus.
2.	Для компенсации возмущений с тем, чтобы система работала в нужном нам направлении, используют	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выходы. 2. Входы. 3. Управляющие воздействия. 4. Возмущения.
3.	Агрегат – это	<ol style="list-style-type: none"> 1. Совокупность происходящих в системе физико-химических процессов и средств для их реализации. 2. Это взаимосвязанная совокупность отдельных типовых технологических процессов и аппаратов, при взаимодействии которых возникают статистические распределенные по времени возмущения. 3. Сочетание энергетических и химических узлов в единую энерготехнологическую систему, осуществляющую рекуперацию химической энергии. 4. Это взаимосвязанная совокупность отдельных типовых технологических процессов и аппаратов.

№	Вопросы	Варианты ответов
4.	Характеристика третьего этапа в развитии компьютерного моделирования.	1. Возможность проектировать значительно более экономичные и надежные химико-технологические системы и более эффективно управлять работой действующих. 2. Выход программного комплекса Aspen Plus. 3. Перевод расчета материальных и тепловых балансов технологических схем с ручного на компьютерный. 4. Оптимизационные расчеты оборудования.
5.	Процесс, в котором определяющие величины изменяются непрерывно по определенным закономерностям, при этом значение выходной величины, однозначно определяется значением входной величины.	1. Стохастический процесс. 2. Детерминированный процесс. 3. Математическое моделирование. 4. Принцип «черного ящика».
6.	Какой принцип применяется при отсутствии информации о процессе, для его математического описания используют зависимость выходных величин от входных?	1. Стохастический процесс. 2. Детерминированный процесс. 3. Математическое моделирование. 4. Принцип «черного ящика».
7.	Алгоритмизация – это	1. Программирование решения задачи для нахождения численных значений определяемых параметров. 2. Установление соответствия модели изучаемому процессу. 3. Формализация изучаемого процесса. 4. Детерминированный процесс.
8.	Назовите первый предельный случай математического описания.	1. Известны полная система уравнений, описывающая все основные стороны моделируемого процесса, и все численные значения параметров этих уравнений. 2. Частичное математическое описание процесса отсутствует. 3. Известны модели с сосредоточенными параметрами. 4. Известны модели с распределенными параметрами и модели с сосредоточенными параметрами.
9.	Если основные переменные процесса изменяются как во времени, так и в пространстве или если указанные изменения происходят только в пространстве, то модели, описывающие такие процессы, называют	1. Моделями с сосредоточенными параметрами. 2. Моделями с распределенными параметрами. 3. Динамическая модель. 4. Модели с распределенными параметрами и модели с сосредоточенными параметрами.

№	Вопросы	Варианты ответов
10.	Переменные, изменение которых связано с характером протекания процесса.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управляемые переменные. 2. Управляющие воздействия. 3. Возмущающие воздействия. 4. Промежуточные переменные.
11.	Переменные, изменение которых косвенно связано с характером протекания процесса.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управляемые переменные. 2. Управляющие воздействия. 3. Возмущающие воздействия. 4. Промежуточные переменные.
12.	Автоматизированные системы управления технологическими процессами предназначены для	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управления типовыми процессами химической технологии. 2. Управления процессами химической технологии, связанными в виде систем агрегатов, комплексов. 3. Управления на уровне предприятия. 4. Логического управления.
13.	Виды вычислительной сетки на плоскости.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прямоугольная. 2. Эллиптическая. 3. Тетраэдрическая и треугольная. 4. Треугольная и четырехугольная.
14.	Условное время изменения выходной величины от начального значения до нового установившегося, если бы это изменение происходило с постоянной и максимальной скоростью для данного переходного процесса.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Постоянная времени. 2. Время запаздывания. 3. Константа скорости. 4. Коэффициент передачи.
15.	Отнесенное к единичному возмущению на входе изменение выходной величины объекта при переходе из начального состояния в новое установившееся – это	<ol style="list-style-type: none"> 1. Коэффициент передачи (усиления) объекта. 2. Постоянная времени. 3. Время запаздывания. 4. Константа скорости.
16.	Один из методов управления, заключающийся в определении нового, наилучшего технологического режима; предполагается, что процесс находится в установившемся состоянии и может быть мгновенно переведен в новое состояние:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Статическая оптимизация. 2. Задача автоматизированной системы управления технологическими процессами. 3. Задача систем автоматического регулирования. 4. Одноконтурная и многоконтурная адаптация.
17.	На каком этапе выполняется настройка количества используемых ядер процессора, участвующих в расчете?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Этап постановки краевых условий. 2. Этап запуска программы на расчет. 3. Этап анализа результатов. 4. Этап постановки контактных условий.

№	Вопросы	Варианты ответов
18.	Модель вытеснения, осложненная обратным перемешиванием; параметром, характеризующим модель, служит коэффициент продольного перемешивания.	1. Модель идеального вытеснения. 2. Модель идеального смешения. 3. Однопараметрическая диффузионная модель. 4. Двухпараметрическая диффузионная модель.
19.	Модель составлена из двух контуров, включающих три зоны вытеснения, зону смешения и две застойные зоны.	1. Ячеечная. 2. Комбинированная модель с смешения. 3. Последовательно соединенные зоны идеального смешения и идеального вытеснения. 4. Идеальное смешение с застойной зоной.
20.	Что в МКЭ понимают под «шириной полосы»?	1. Количество ненулевых элементов. 2. Количество узлов. 3. Наибольшая разность между номерами ненулевых элементов в строке. 4. Наименьшая разность между номерами ненулевых элементов в строке.

Вариант №2

№	Вопросы	Варианты ответов
1.	Перерабатываемое сырье, его состав, температура относятся к	1. Входам. 2. Входам. 3. Управляющим воздействиям. 4. Возмущениям.
2.	В чем заключается общая концепция универсальной моделирующей программы (структура программного комплекса):	1. Библиотека модулей для расчета аппаратов; банк физико-химических свойств. 2. Организующая программа; библиотека модулей для расчета аппаратов; банк физико-химических свойств. 3. Организующая программы; библиотека модулей для расчета аппаратов; банк физико-химических свойств; библиотека математических модулей. 4. Библиотеки математических модулей; графический интерфейс; модуль сигнализации и аварий.
3.	Какие существуют взаимосвязи между входными и выходными переменными подсистем в агрегате?	1. Стохастические. 2. Идентичные. 3. Большие. 4. Взаимосвязанные.

№	Вопросы	Варианты ответов
4.	Основным показателем, по которому процессы относят к тому или иному типу является	1. Идентичность их физико-химических особенностей, т. е. материальных и энергетических внутренних связей. 2. Проведение процесса в агрегатах большой единичной мощности. 3. Сочетание энергетических и химических узлов в единую энерготехнологическую систему, осуществляющую рекуперацию химической энергии. 4. Взаимосвязанная совокупность отдельных типовых технологических процессов и аппаратов.
5.	Какие методы применяются для описания детерминированных процессов?	1. Математическое моделирование. 2. Формализация изучаемого процесса. 3. Статистически вероятностные методы. 4. Методы классического анализа и численные методы.
6.	Основной метод расчета сложных процессов химической технологии.	1. Стохастический процесс. 2. Детерминированный процесс. 3. Математическое моделирование. 4. Принцип «черного ящика».
7.	Адекватность – это	1. Программирование решения задачи для нахождения численных значений определяемых параметров. 2. Установление соответствия модели изучаемому процессу. 3. Формализация изучаемого процесса. Детерминированный процесс.
8.	На каком этапе МКЭ осуществляется выбор уравнений, описывающих исследуемый процесс?	1. Математическая постановка задачи. 2. Создание (импорт) геометрической модели исследуемого объекта. 3. Задание свойств и моделей материалов. 4. Создание вычислительной сетки.
9.	Описание связей между основными переменными процесса в установившихся режимах.	1. Моделями с сосредоточенными параметрами. 2. Моделями с распределенными параметрами. 3. Динамическая модель. 4. Статическая модель.
10.	Переменные, изменение которых непосредственно влияет на ход процесса, их можно измерять, а также целенаправленно изменять.	1. Управляемые переменные. 2. Управляющие воздействия. 3. Возмущающие воздействия. 4. Промежуточные переменные.
11.	Установление связи между его основными переменными при изменении их во времени – это	1. Получение динамических характеристик процесса. 2. Математическое моделирование. 3. Анализ. 4. Синтез системы.

№	Вопросы	Варианты ответов
12.	Автоматизированные системы оперативного управления предприятием предназначены для	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управления типовыми процессами химической технологии. 2. Управления процессами химической технологии, связанными в виде систем агрегатов, комплексов. 3. Управления на уровне предприятия. 4. Логического управления.
13.	Выходные кривые, получаемые при нанесении ступенчатого возмущения, носят название	<ol style="list-style-type: none"> 1. Кривых передаточного процесса. 2. Кривых переходного процесса или кривых разгона. 3. Кривых перегонки. 4. Кривых переходного объекта.
14.	Резервуары и аппараты, в которых регулируется уровень жидкости; аппараты с регулируемой температурой путем смешения двух жидкостей относятся к	<ol style="list-style-type: none"> 1. Многоемкостным объектам. 2. Одноемкостным объектам. 3. Распределенным объектам. 4. Реакторам деления.
15.	Поддержание определенных технологических параметров отдельных процессов на заданном уровне при помощи регуляторов – это	<ol style="list-style-type: none"> 1. Статическая оптимизация. 2. Задача автоматизированной системы управления технологическими процессами. 3. Задача систем автоматического регулирования. 4. Одноконтурная и многоконтурная адаптация.
16.	Группа уравнений, которая характеризует распределение в потоках температуры, составов и связанных с ними свойств, например плотности, вязкости, теплоемкости	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теоретические, полуэмпирические или эмпирические соотношения. 2. Ограничения на параметры процесса. 3. Уравнения «элементарных» процессов. 4. Уравнения баланса масс и энергии.
17.	Этап постановки краевых условий – это этап, на котором	<ol style="list-style-type: none"> 1. Осуществляется выбор уравнений, описывающих исследуемый процесс. 2. Определяются с расчетной областью, с ее размерностью и способом создания или импорта в расчетный модуль. 3. Задаются начальные и граничные условия. 4. Осуществляется выбор определяющих соотношений или уравнений состояния, описывающих модель материала.
18.	В какой модели учитывается перемешивание потока в продольном и радиальном направлениях?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Модель идеального вытеснения. 2. Модель идеального смешения. 3. Однопараметрическая диффузионная модель. 4. Двухпараметрическая диффузионная модель.
19.	Модель составлена из зон вытеснения и смешения, застойной зоны, зоны запаздывания и байпаса.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ячеечная. 2. Комбинированная модель с байпасом. 3. Последовательно соединенные зоны идеального смешения и идеального вытеснения. 4. Идеальное смешение с застойной зоной.

№	Вопросы	Варианты ответов
20.	Основной недостаток метода конечных элементов.	1. Требование к объему постоянного запоминающего устройства компьютера. 2. Требование к вычислительной мощности компьютера. 3. Требование ортогональности невязки и выбранных аппроксимирующих функций. 4. Требование параллельности невязки и выбранных аппроксимирующих функций.

Вариант №3

№	Вопросы	Варианты ответов
1.	Особенности второго этапа в развитии компьютерного моделирования:	1. С переводом расчета материальных и тепловых балансов технологических схем с ручного на компьютерный. 2. С появлением механических решающих устройств. 3. Оптимизационные процедуры стали применяться не только для расчета отдельных вариантов, но и для оптимизации технологических в статике. 4. С выходом программного комплекса Aspen Plus.
2.	Совокупность малых систем и отличаются от них в количественном и качественном отношениях	1. Малые системы. 2. Большие системы. 3. Средние системы. 4. Крупные системы.
3.	Особенность второй ступени иерархии химических производств.	1. Идентичность их физико-химических особенностей, т. е. материальных и энергетических внутренних связей. 2. Проведение процесса в агрегатах большой единичной мощности. 3. Сочетание энергетических и химических узлов в единую энерготехнологическую систему, осуществляющую рекуперацию химической энергии. 4. Взаимосвязанная совокупность отдельных типовых технологических процессов и аппаратов.
4.	По своей природе процессы подразделяются на	1. Детерминированные и стохастические. 2. Статистически вероятностные. 3. Стохастические. 4. Детерминированные.
5.	Процесс, в котором изменение определяющих величин происходит беспорядочно и дискретно	1. Стохастический процесс. 2. Детерминированный процесс. 3. Математическое моделирование. 4. Принцип «черного ящика».
6.	Составление математического описания – это	1. Математическое моделирование. 2. Формализация изучаемого процесса. 3. Статистически вероятностные методы. 4. Методы классического анализа и численные методы.

№	Вопросы	Варианты ответов
7.	Этап настройки решателя – это этап, на котором	<ol style="list-style-type: none"> 1. Устанавливается количество итераций, шагов по времени, общее время расчета, геометрическая линейность или нелинейность. 2. Осуществляется выбор уравнений, описывающих исследуемый процесс. 3. Определяются с расчетной областью, с ее размерностью и способом создания или импорта в расчетный модуль. 4. Осуществляется выбор определяющих соотношений или уравнений состояния, описывающих модель материала.
8.	Модели, описывающие процессы, в которых изменения основных переменных в пространстве не происходят, называются	<ol style="list-style-type: none"> 1. Моделями с сосредоточенными параметрами. 2. Моделями с распределенными параметрами. 3. Динамическая модель. 4. Модели с распределенными параметрами и модели с сосредоточенными параметрами.
9.	Описание связей между основными переменными процесса во времени при переходе от одного режима к другому.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Моделями с сосредоточенными параметрами. 2. Моделями с распределенными параметрами. 3. Динамическая модель. 4. Статическая модель.
10.	Переменные, изменение которых непосредственно влияет на ход процесса, их целенаправленное изменение невозможно.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управляемые переменные. 2. Управляющие воздействия. 3. Возмущающие воздействия. 4. Промежуточные переменные.
11.	Системы автоматического регулирования предназначены для	<ol style="list-style-type: none"> 1. Управления типовыми процессами химической технологии. 2. Управления процессами химической технологии, связанными в виде систем агрегатов, комплексов. 3. Управления на уровне предприятия. 4. Логического управления.
12.	На каком этапе необходимо определить модели материалов, участвующих в расчете объектов?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Математическая постановка задачи. 2. Создание (импорт) геометрической модели исследуемого объекта. 3. Задание свойств и моделей материалов. 4. Создание вычислительной сетки.
13.	По кривым переходного процесса получают следующие характеристики управляемости процесса:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Время запаздывания. 2. Постоянную времени. 3. Коэффициент передачи. 4. Все вышеперечисленное.
14.	Наиболее распространенный тип контактных условий в ANSYS, подразумевающий полную склейку двух контактирующих объектов и работу их как единого целого без разделения.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Контакт с трением. 2. Контакт без трения. 3. Идеальный контакт. 4. Контакт без разделения.

№	Вопросы	Варианты ответов
15.	Активное вмешательство непосредственно на ход технологического процесса всей технологической схемы, выработка заданий совокупности регуляторов с целью оптимизации процесса в непрерывно меняющихся условиях производства	1. Статическая оптимизация. 2. Задача автоматизированной системы управления технологическими процессами. 3. Задача систем автоматического регулирования. 4. Одноконтурная и многоконтурная адаптация.
16.	Описание процессов массо- и теплообмена, химических реакций относится к группе	1. Теоретические, полуэмпирические или эмпирические соотношения. 2. Ограничения на параметры процесса. 3. Уравнения «элементарных» процессов. 4. Уравнения баланса масс и энергии.
17.	Согласно этой модели, принимается равномерное распределение субстанции во всем потоке; процессы, происходящие в цилиндрических аппаратах со сферическим дном в условиях интенсивного перемешивания при наличии отражательных перегородок.	1. Модель идеального вытеснения. 2. Модель идеального смешения. 3. Однопараметрическая диффузионная модель. 4. Двухпараметрическая диффузионная модель.
18.	Основой какой модели является представление об идеальном перемешивании в пределах ячеек, расположенных последовательно, и отсутствии перемешивания между ячейками?	1. Ячеечная модель. 2. Комбинированная модель с байпасом. 3. Последовательно соединенные зоны идеального смешения и идеального вытеснения. 4. Идеальное смешение с застойной зоной.
19.	Что предусматривает визуальный интерфейс?	1. Последовательное соединение элементов в определенном порядке на экране. 2. Распределенный выбор элементов и соединение их в определенном порядке. 3. Формирование схемы непосредственно на экране компьютера, выбор элементов из списка и соединение их в определенном порядке. 4. Последовательный выбор элементов и назначение входным и выходным потокам адресов из общего списка потоков моделируемой схемы.
20.	Для моделирования аппаратов с мешалками, псевдооживленных слоев применяется	1. Ячеечная. 2. Комбинированная модель с байпасом. 3. Последовательно соединенные зоны идеального смешения и идеального вытеснения. 4. Идеальное смешение с застойной зоной.

6.2.3. Критерии оценок промежуточной аттестации (зачета)

Шкала оценивания знаний по вопросам/выполнению заданий зачета:

Оценка	Описание
Зачтено	Посещение более 50 % лекционных и практических занятий; студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения

	достаточно высокое; в течение семестра выполнил творческую работу.
Не зачтено	Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий; студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-49	Не зачтено
50-65	Зачтено
66-85	Зачтено
86-100	Зачтено

6.2.4. Описание шкалы и критериев оценивания для проведения промежуточной аттестации в форме защиты курсовой работы

Студент выполняет курсовую работу в соответствии с графиком, принятым на заседании кафедры. Оценка может быть снижена за несоблюдение установленного кафедрой графика.

Оценка			
«2» (неудовлетворительно)	Пороговый уровень освоения	Углубленный уровень освоения	Продвинутый уровень освоения
	«3» (удовлетворительно)	«4» (хорошо)	«5» (отлично)
Студент не выполнил курсовую работу в соответствии с заданием. Не владеет теоретическими знаниями по изучаемой дисциплине. Необходимые практические компетенции не сформированы	Студент выполнил курсовую работу с существенными ошибками. При защите курсовой работы демонстрирует слабую теоретическую подготовку. При решении задач, предусмотренных программой учебной дисциплины, допускает неточности, существенные ошибки	Студент выполнил курсовую работу с некоторыми незначительными ошибками и неточностями. При защите курсовой работы демонстрирует хорошую теоретическую подготовку. Хорошо справляется с решением задач, предусмотренных программой учебной дисциплины	Студент выполнил курсовую работу полностью в соответствии с заданием. При защите курсовой работы демонстрирует высокую теоретическую подготовку. Успешно справляется с решением задач, предусмотренных программой учебной дисциплины

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

7.1. Основная литература

1. Аверченков В.И. Основы математического моделирования технических систем : учебное пособие/ В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. – 3–е изд., стереотип. – Москва : Флинта, 2021. – 271 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93344>.
2. Гумеров А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов: Учебное пособие. — 2-е изд., перераб. — СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 176 с.
3. Кудряшов В.С. Моделирование систем : учебное пособие/ В.С. Кудряшов, М.В. Алексеев. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2012. – 208 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141980>.
4. Левицкий И.А. Математическое моделирование газодинамики и теплообмена в промышленных печах. Применение Ansys Fluent для моделирования газодинамики и теплообмена: практикум / И.А. Левицкий. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 272 с.
5. Математическое моделирование [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Шариков. – СПб. : Горн. ун–т, 2015. – 130 с. – URL: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D113916<.>.

6. Моделирование процессов и объектов в химических технологиях [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю.В. Шариков. – СПб. : Горн. ун-т, 2015. – URL: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS.
7. Wael A. Altabay, Mohammad Noori, Libin Wang, Using ANSYS for Finite Element Analysis, Volume I: A Tutorial for Engineers, Momentum Press, 2018. 210 p.
8. Xiaolin C., Yijun L., Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench. CRC Press, 2018. 471 p.

7.2. Дополнительная литература

1. Закгейм А.Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов: учеб. пособие / А.Ю. Закгейм. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2012. – 304 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=468690>.
2. Ковалев П.И. Введение в теорию моделирования систем управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие – Электрон. дан. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. – 68 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64520>.
3. Косенко И.И. Проектирование и 3D-моделирование в средах CATIA V5, ANSYS и Dymola 7.3 : учеб. пособие [Электронный ресурс] / И.И. Косенко, Л.В. Кузнецова, А.В. Николаев [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 183 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс – Режим доступа <http://znanium.com/bookread2.php?book=851549>; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=139880>.
4. Математическое моделирование магнитного поля трубопровода с дефектами в программном комплексе ANSYS/MAGNETOSTATIC [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е.И. Крапивский, Р.Ю. Чумарев. – СПб. : Горн. ун-т, 2013. – 139 с. – URL: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%D0%90%2088474%2F%D0%9A%2078%2D006561012<.>.
5. Осипова Н.В. Математическое моделирование объектов и систем управления: учебное пособие / Н.В. Осипова. – М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 67 с.

7.3. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Официальный сайт компании ANSYS, разработчика программного обеспечения для инженерного анализа и численного моделирования – URL: <https://www.ansys.com/> – Текст: электронный.
2. Официальный сайт компании КАДФЕМ Си-Ай-Эс, авторизованного дистрибьютора и центра компетенции Ansys в России и СНГ – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/>. – Текст: электронный.
3. Журналы «CADFEM REVIEW», «ANSYS ADVANTAGE» о моделировании в программных продуктах ANSYS . Официальный сайт компании КАДФЕМ Си-Ай-Эс, авторизованного дистрибьютора и центра компетенции Ansys в России и СНГ – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/knowledge/journals/>.
4. Инженерно-технический журнал «ANSYS Advantage. Архив журналов – URL: <https://www.ansysadvantage.ru/>.
5. Вебинары по численному моделированию в ANSYS . Официальный сайт компании КАДФЕМ Си-Ай-Эс, авторизованного дистрибьютора и центра компетенции Ansys в России и СНГ – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/knowledge/webinars/>.
6. Видеоуроки по численному моделированию в ANSYS . Официальный сайт компании КАДФЕМ Си-Ай-Эс, авторизованного дистрибьютора и центра компетенции Ansys в России и СНГ – URL: <https://www.cadfem-cis.ru/knowledge/video-cadfem/>.

7. Онлайн курсы ANSYS, портал дистанционного обучения компании КАДФЕМ Си-Ай-Эс, авторизованного дистрибьютора и центра компетенции Ansys в России и СНГ – URL: <https://elearning.cadfm-cis.ru/>.
8. Информационно-аналитический журнал «CAD/CAM/CAE Observer», освещающий вопросы разработки и применения новейших компьютерных технологий в сфере автоматизации процессов промышленного дизайна (CAID), конструирования (CAD), анализа, расчетов и симуляции (CAE), технологической подготовки производства (CAPP и CAM) и управления данными (PDM) на всех этапах жизненного цикла изделий. – URL: <http://www.cadcamcae.lv/>.
9. Статьи и публикации по моделированию в ANSYS. Официальный сайт компании «КАЕ Эксперт», поставщика интегратора технологий ANSYS в России и СНГ – URL: <https://cae-expert.ru/articles> (дата обращения 10.05.2021). – Текст: электронный.
10. Блог компании «КАЕ Эксперт», поставщика интегратора технологий ANSYS в России и СНГ – URL: <https://cae-club.ru/blog>.
11. Форум-обсуждение программных продуктов ANSYS на сайте компании «КАЕ Эксперт», поставщика интегратора технологий ANSYS в России и СНГ – URL: <https://cae-club.ru/forum>.
12. Сообщество Экспонента. Официальный сайт Центра Инженерных Технологий и Моделирования («ЦИТМ Экспонента»). – URL: <https://hub.exponenta.ru/>.
13. Новостной сайт «Хабр» об информационных технологиях. – URL: <https://habr.com/ru/>.
14. Официальный сайт компании AVEVA, разработчика комплексных IT решения для проектирования, инжиниринга и управления проектами в нефтегазовой, энергетической, химической и судостроительной промышленности. – URL: <https://www.aveva.com/>.
15. Вебинары компании AVEVA, разработчика комплексных IT решения для проектирования, инжиниринга и управления проектами в нефтегазовой, энергетической, химической и судостроительной промышленности. – URL: <https://www.aveva.com/en/perspectives/webinars/>.
16. Официальный сайт компании Wonderware Russia (в настоящее время принадлежащая AVEVA). Программные продукты PRO/II Simulation, программы для моделирования, расчетов массового и энергетического балансов. – URL: <https://www.wonderware.ru/>.
17. Вебинары программных продуктов AVEVA 2021. Официальный сайт компании Klinkmann поставщика решений и услуг в области автоматизации и электротехнических компонентов. – URL: <https://www.klinkmann.ru/about/events/webinary-wonderware-aveva-2021/>.
18. Официальный сайт компании AspenTechnology, разработчика программных решений для оптимизации технологических процессов, предназначенных для управления и оптимизации проектирования установок и технологических процессов (Aspen HYSYS, AspenONE), эксплуатационных характеристик и планирования цепочек поставок. – URL: <https://www.aspentech.com/>.
19. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
20. Информационно-издательский центр по геологии и недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации - ООО "ГЕОИНФОРММАРК"- <http://www.geoinform.ru/>
21. Информационно-аналитический центр «Минерал» - <http://www.mineral.ru/>
22. КонсультантПлюс: справочно-поисковая система [Электронный ресурс]. - www.consultant.ru/.
23. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
24. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
25. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
26. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>
27. <https://e.lanbook.com/books>.
28. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.

29. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ресурс] www.garant.ru/.
30. Термические константы веществ. Электронная база данных,
31. <http://www.chem.msu.su/cgibin/tkv.pl>
32. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»
33. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ):
34. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
35. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» www.biblio-online.ru.
36. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»». <http://rucont.ru/>
37. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

7.4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента

1. Кудряшов В.С. Моделирование систем: учебное пособие [Электронный ресурс] / В.С. Кудряшов, М.В. Алексеев. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2012. – 208 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141980>.
2. Моделирование процессов и объектов в химических технологиях [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Шариков. – СПб.: Горн. ун-т, 2015. – URL: http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, практических занятий, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

Аудитории оснащены специализированным оборудованием, необходимым для выполнения практических работ по дисциплине «Базы и банки данных».

Аудитории для проведения лекционных занятий.

Оснащенность: стол – 15 шт., стул – 30 шт, доска белая маркерная Magnetoplan С 2000х1000мм.

Компьютерная техника: интерактивный сенсорный LCD-экран iiyama ProLite PL8603U.

Аудитории для проведения практических занятий.

Оснащенность: стол – 8 шт., стул – 16 шт, доска белая маркерная Magnetoplan С 2000х1000мм.

Компьютерная техника: Моноблок Dell OptiPlex 7470 All-in-One CTO 23.8" FHD DDR4 16 Гб – 16 шт.

8.2. Помещения для самостоятельной работы:

1. Оснащенность: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

2. Оснащенность: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

3. Оснащенность: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая

магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стулья – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

8.4. Лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный).
2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный).
3. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный).
4. AVEVA PRO/II Process Engineering.
5. AVEVA DYN SIM Dynamic Simulation.
6. ANSYS Mechanical, ANSYS Fluent.