

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОПОП
Д.И. Меркулов

«04» апреля 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИТ
О.Н. Выборнова

«04» апреля 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Составитель	Подгорный А.Н., старший преподаватель кафедры информационных технологий
Направление подготовки	13.03.02. Электроэнергетика и электротехника.
Направленность (профиль) ОПОП	Профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»
Квалификация (степень)	бакалавр
Форма обучения	заочная
Год приема	2023
Курс	2
Семестр(ы)	3

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целями освоения дисциплины «Математическое моделирование» являются: Изучение принципов построения математических моделей электротехнических устройств и систем.

1.2. Задачи освоения дисциплины: ознакомление обучающихся с основными видами моделей. Ознакомление обучающихся с моделями установившихся и переходных процессов в компонентах электромеханических систем. Ознакомление обучающихся с имитационным моделированием электромеханических систем. Ознакомление обучающихся с построением математических моделей электротехнических устройств и систем по результатам экспериментов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Математическое моделирование» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Б1.В.Д.02.02 и осваивается в 3 семестре

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами естественнонаучного и математического цикла (физика, математика) и профессионального цикла (информатика) подготовки бакалавров и опирается на освоенные при изучении данных дисциплин знания и умения в областях:

– Высшая математика, Физика

Знания: основных естественнонаучных законов; дифференциального и интегрального исчисления, рядов, элементов логики; основ программирования на языках высокого уровня; методов решений уравнения Шредингера, функционалов плотности и пр.; строения вещества.

Умения: на основе естественнонаучных законов осуществлять инженерные расчеты с использованием при необходимости стандартных прикладных программ; ориентироваться в современных компьютерных технологиях (аппаратное и программное обеспечение).

Навыки: проведения математических расчетов; использования компьютера для поиска информации в Интернет и написания математических текстов.

2.3. Последующие учебные дисциплины, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

- Преддипломная практика
- Выпускная квалификационная работа.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование элементов следующей(их) компетенции(ий) в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки / специальности:

ПК-1. Способен участвовать в проектировании электрических станций и подстанций

Таблица 1 - Декомпозиция результатов обучения

Планируемые результаты обучения по дисциплине			
Код и наименование компетенции	Знать	Уметь	Владеть

ПК-1. Способен участвовать в проектировании электрических станций и подстанций	ИПК-1.1.1. Демонстрировать понимание взаимосвязи задач проектирования и эксплуатации	ИПК-1.2.1. Выполнять сбор и анализ данных для проектирования, составляет конкурентно-способные варианты технических решений	ИПК-1.3.1. Подготавливать разделы проектной документации на основе типовых технических решений
--	--	---	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Объём дисциплины «Математическое моделирование и современные проблемы наук о материалах и процесса» составляет 3 зачётные единицы, в том числе 12 часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них: 6 часов – практические, семинарские занятия), и 96 часов – на самостоятельную работу обучающихся.

Таблица 2 - Структура и содержание дисциплины

	Раздел, тема дисциплины (модуля)	Семестр	Контактная работа (в часах)			Самост. работа		Форма текущего контроля успеваемости
			Л	ПЗ	ЛР	КР	СР	
1	Понятие вычислительного эксперимента	3	1				11	Тестирование, устный опрос
2	Методы моделирования и Классификация математических моделей		1	1			8	Тестирование, устный опрос
3	Компонентное и объектно-ориентированное моделирование			1			11	Тестирование, устный опрос
4	Динамические, гибридные, распределенные системы			1			8	Тестирование, устный опрос
5	Методы решения дифференциальных уравнений			1			11	Собеседование
6	Фрактальная геометрия		1				8	устный опрос
7	Стохастические и детерминистические модели			1			11	устный опрос
8	Использование профессиональных программных пакетов компьютерного моделирования		1				12	Тестирование, устный опрос
9	Демонстрация классических математических моделей		1				11	устный опрос
10	Задачи и методы моделирования нанообъектов		1	1			5	устный опрос
	<i>Форма контроля</i>						Экзамен	
	Итого		6	6			96	

Таблица 3 – Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины (модуля) и формируемых компетенций

Темы, дисциплины	Кол-во часов	Код компетенции	ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО КОМПЕТЕНЦИЙ
		ПК-1	

Понятие вычислительного эксперимента	12	+	1
Методы моделирования и Классификация математических моделей	10	+	1
Компонентное и объектно-ориентированное моделирование	12	+	1
Динамические, гибридные, распределенные системы	9	+	1
Методы решения дифференциальных уравнений	12	+	1
Фрактальная геометрия	9	+	1
Стохастические и детерминистические модели	12	+	1
Использование профессиональных программных пакетов компьютерного моделирования	13	+	1
Демонстрация классических математических моделей	12	+	1
Задачи и методы моделирования нанообъектов	7	+	1
Итого	108		

Краткое содержание каждой темы дисциплины.

ТЕМА 1. ПОНЯТИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ. ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ. ВРЕМЯ. ПРОСТРАНСТВО. СОБЫТИЯ. ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ. РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ. ПОНЯТИЕ СИНЕРГЕТИКИ.

Тема 2. Методы моделирования и классификация математических моделей

Методы моделирования. Типы математических моделей и их классификация. Иерархическая система математических моделей нанообъектов.

ТЕМА 3. КОМПОНЕНТНОЕ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ. ПОДБОР ЭМПИРИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЫ. УПРОЩЕНИЕ УРАВНЕНИЙ. ПОЛУЧЕНИЕ КОНЕЧНЫХ УРАВНЕНИЙ.

Тема 4. Динамические, гибридные, распределенные системы

Задачи и методы моделирования. Динамика закрытых химических систем. Уравнения кинетики для открытых систем.

Асимптотические разложения. Интегральные представления решений. Автомодельные решения. Фазовый портрет. Обобщенные решения. Итерационные методы. Метод прогноза и коррекции. Жесткие системы. Проекционные методы.

Тема 5. Методы решения дифференциальных уравнений

Методы построения и исследования решений. Методы решения дифференциальных уравнений. Явная и неявная схема Эйлера. Проблема устойчивости вычислительных схем. Многошаговые методы. Клеточные автоматы.

Тема 6. Фрактальная геометрия

Примеры построения фракталов. Понятие перколяционного кластера.

Тема 7. Стохастические и детерминистические модели

Решеточные модели и алгоритмы вероятностных асинхронных клеточных автоматов. Модели типа «реакция – диффузия». Минимальные математические модели. Диффузионно-дрейфовое приближение.

ТЕМА 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ

ВИЗУАЛИЗАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ИНЖЕНЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ПРИМЕРЫ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ.

Тема 9. Демонстрация классических математических моделей

Базовые модели: распределенные системы, клеточные автоматы, дифференциальные модели. Динамические модели. Вероятностные клеточные автоматы.

Тема 10. Задачи и методы моделирования нанообъектов

Шредингеровские модели. Теория функционала плотности. Модели молекулярной динамики на первых принципах. Модели классической молекулярной динамики.

Моделирование структуры смешанных частиц металлов. Моделирование свойств соединений внедрения. Моделирование структурных элементов металлоорганических соконденсатов.

Приближение дискретных диполей. Метод T-матрицы. Метод множественных мультиполей. Метод конечных разностей во временной области. Метод объемных интегральных уравнений. Основные приближения метода. Энергии кластеров. Выбор базисной кластерной фигуры. Вероятности кластеров и подфигур. Условие минимума свободной энергии.

Микроскопическая модель внутрикластерной атомной динамики. Термодинамическая модель кластера. Квантово-статистическая модель. Фрактальные модели кластеров. Оболочечные модели кластеров. Структурная модель кластеров.

Модель РРК. Модель РРКМ и переходное состояние. Модель фазового пространства. Определение энергий диссоциации с помощью моделей кластерных реакций.

Постановка задачи. Основные стадии самоорганизации системы. Предшественники кристаллической структуры. Универсальный принцип структурной эволюции систем.

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

5.1. Указания для преподавателей по организации и проведению учебных занятий по дисциплине Практические занятия проходят в аудиториях, оборудованных мультимедийной техникой.

Учебно-методическое обеспечение: курс лекций (moodle)

Изучение дисциплины предусматриваются следующие формы самостоятельной работы студента:

- работа с конспектом лекций;
- чтение основной и дополнительной литературы по дисциплине;
- работа с электронными ресурсами в сети Интернет.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины

Таблица 4 – Содержание самостоятельной работы обучающихся

Номер темы	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Формы работы
1	Понятия и определения вычислительного эксперимента: Время. Пространство. События. Динамические системы. Гибридные системы. Распределенные системы. Понятие синергетики.	11	Изучение литературы
2	Методы моделирования. Типы математических моделей и их классификация.	8	Изучение литературы
3	Подбор эмпирической формулы. Упрощение уравнений. Получение конечных уравнений.	11	Изучение литературы
4	Динамика закрытых химических систем. Уравнения кинетики для открытых систем. Асимптотические разложения. Интегральные представления решений. Ав-	8	Изучение литературы

	томодельные решения. Фазовый портрет. Обобщенные решения. Итерационные методы. Метод прогноза и коррекции. Жесткие системы. Проекционные методы.		
5	Явная и неявная схема Эйлера. Проблема устойчивости вычислительных схем. Многошаговые методы. Клеточные автоматы.	11	Изучение литературы
6	Построение фракталов. Изучение свойств перколяционного кластера.	8	Изучение литературы
7	Модели типа «реакция – диффузия». Минимальные математические модели. Диффузионно-дрейфовое приближение.	11	Изучение литературы
8	Визуализационное моделирование. Вычислительное моделирование. Инженерное моделирование.	12	Изучение литературы
9	Построение базовых моделей: распределенные системы, клеточные автоматы, дифференциальные модели; динамических моделей; вероятностных клеточных автоматов.	11	Изучение литературы
10	<p>Описание моделей наночастиц и нанообъектов: Шредингеровские модели. Теория функционала плотности. Модели молекулярной динамики на первых принципах. Модели классической молекулярной динамики.</p> <p>Моделирование структуры смешанных частиц металлов. Моделирование свойств соединений внедрения. Моделирование структурных элементов металлоорганических соконденсатов.</p> <p>Приближение дискретных диполей. Метод T-матрицы. Метод множественных мультиполей. Метод конечных разностей во временной области. Метод объемных интегральных уравнений.</p> <p>Основные приближения метода. Энергии кластеров. Выбор базисной кластерной фигуры. Вероятности кластеров и подфигур. Условие минимума свободной энергии.</p> <p>Микроскопическая модель внутрикластерной атомной динамики. Термодинамическая модель кластера. Квантово-статистическая модель. Фрактальные модели кластеров. Оболочечные модели кластеров. Структурная модель кластеров.</p> <p>Модель РРК. Модель РРКМ и переходное состояние. Модель фазового пространства. Определение энергий диссоциации с помощью моделей кластерных реакций.</p> <p>Постановка задачи. Основные стадии самоорганизации системы. Предшественники кристаллической структуры. Универсальный принцип структурной эволюции систем.</p>	5	Изучение литературы

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины, выполняемые обучающимися самостоятельно.

Не предусмотрено.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6.1. Образовательные технологии

Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий

	Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия	
		Лекция	Практическое занятие, семинар
1	Понятие вычислительного эксперимента	Обзорная лекция	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
2	Методы моделирования и Классификация математических моделей	Лекция-диалог	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
3	Компонентное и объектно-ориентированное моделирование	Обзорная лекция	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
4	Динамические, гибридные, распределенные системы	Лекция-диалог	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
5	Методы решения дифференциальных уравнений	Обзорная лекция	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
6	Фрактальная геометрия	Лекция-диалог	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
7	Стохастические и детерминистические модели	Обзорная лекция	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
8	Использование профессиональных программных пакетов компьютерного моделирования	Лекция-диалог	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
9	Демонстрация классических математических моделей	Обзорная лекция	<i>фронтальный опрос, анализ конкретных ситуаций, обучение действием («action learning»)</i>
10	Задачи и методы моделирования нанообъектов	Лекция-диалог	<i>peer education / равный обучает равного</i>

6.2. Информационные технологии

- использование электронных учебников и различных сайтов как источник информации;
- использование возможностей электронной почты преподавателя (рассылка заданий, предоставление выполненных работ, ответы на вопросы, ознакомление учащихся с оценками и т.д.);
- использование виртуальной обучающей среды (LMS Moodle «Электронное образование»)
- использование средств представления учебной информации (электронных учебных пособий и практикумов, применение новых технологий для проведения очных (традиционных) лекций и семинаров с использованием презентаций

6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Moodle	Образовательный портал ФГБОУ ВО «АГУ»
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 7 Professional	Операционная система
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
КОМПАС-3D V21	Создание трехмерных ассоциативных моделей отдельных элементов и сборных конструкций из них
OpenOffice	Пакет офисных программ
Opera	Браузер
VLC Player	Медиапроигрыватель

6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем». <https://library.asu.edu.ru>
2. Электронный каталог «Научные журналы АГУ»: <http://journal.asu.edu.ru/>
3. Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО "ИВИС". <http://dlib.eastview.com> Имя пользователя: AstrGU Пароль: AstrGU
4. Электронно-библиотечная система elibrary. <http://elibrary.ru>

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Паспорт фонда оценочных средств.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине « Математическое моделирование и современные проблемы наук о материалах и процессах» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой тем.

Таблица 6 - Соответствие изучаемых тем дисциплины, результатов обучения по дисциплине и оценочных средств

Контролируемые темы дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
		ПК-1

1. Понятие вычислительного эксперимента	+	Тестирование, устный опрос
2. Методы моделирования и Классификация математических моделей	+	Тестирование, устный опрос
3. Компонентное и объектно-ориентированное моделирование	+	Устный опрос
4. Динамические, гибридные, распределенные системы	+	Тестирование, устный опрос
5. Методы решения дифференциальных уравнений	+	Устный опрос
6. Фрактальная геометрия	+	Устный опрос
7. Стохастические и детерминистические модели	+	Устный опрос
8. Использование профессиональных программных пакетов компьютерного моделирования	+	Устный опрос
9. Демонстрация классических математических моделей	+	Тестирование, устный опрос
10. Задачи и методы моделирования нанообъектов	+	Устный опрос

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Таблица 7 – Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 «отлично»	1. Умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, делать необходимые выводы. 2. Демонстрация глубоких знаний теоретического материала, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры.
4 «хорошо»	1. Демонстрируются знания теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя
3 «удовлетворительно»	1. Демонстрируется неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов.
2 «неудовлетворительно»	Демонстрируются существенные пробелы в знании теоретического материала, не способность его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя.

Таблица 8 – Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

Шкала оценивания	Критерии оценивания

5 «отлично»	<p>1. Правильное, самостоятельное и своевременное выполнение заданий по темам дисциплины (подпись преподавателя)</p> <p>2. Демонстрируется способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполнение заданий.</p> <p>3. Умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.</p>
4 «хорошо»	<p>1. Правильное, самостоятельное и своевременное выполнение заданий по темам дисциплины (подпись преподавателя), допускаются недочеты, не влияющие на суть задачи.</p> <p>2. Демонстрируется способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательное и правильное выполнение заданий.</p> <p>3. Умение обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, возможны единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя</p>
3 «удовлетворительно»	<p>1. Правильное, самостоятельное и своевременное выполнение заданий по темам дисциплины (подпись преподавателя), допускаются недочеты при решении комплексных задач, задание выполнено с помощью тьютера.</p> <p>2. Неполное теоретическое обоснование, требующее наводящих вопросов преподавателя;</p> <p>3. Демонстрируются отдельные, несистематизированные навыки, неспособность применить знания теоретического материала при выполнении заданий, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание при подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов</p>
2 «неудовлетворительно»	<p>1. Отсутствие выполненных заданий по темам дисциплины (подпись преподавателя) и его теоретического обоснования.</p> <p>2. Отсутствие умения самостоятельно правильно выполнить задание</p>

7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине:

ТЕМА 1. ПОНЯТИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.

Вопросы для собеседования

1. Опишите понятие модели объекта и необходимость ее использования.
2. Дайте понятие математической модели, принципы ее построения.
3. Объясните различие между аналитическим и имитационным моделированием.
4. Дайте классификацию математических моделей.
5. Представьте последовательность необходимых шагов вычислительного эксперимента.
6. Опишите способы оценки адекватности полученных моделей.
7. Какие способы исследования моделей вы знаете?
8. Дайте определение динамической системы.
9. Объясните понятие гибридной системы.
10. Разъясните необходимость использования дискретного времени в моделировании.
11. Объясните различие между временными диаграммами и фазовыми.

Тестовые задания

1. Любой другой объект, отдельные свойства которого частично или полностью совпадают со свойствами исходного объекта, – это:

- а) компьютерная модель;
- б) модель;
- в) результат численного эксперимента;

г) динамическая модель.

2. Приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики, – это:

- а) компьютерная модель;
- б) вычислительный эксперимент;
- в) модель;
- г) математическая модель.

3. Метод моделирования, когда модель системы или ее элементов имеет вид функциональных зависимостей между входными, выходными параметрами и параметрами состояния системы, – это:

- а) аналитическое моделирование;
- б) метод Монте-Карло;
- в) имитационное моделирование;
- г) метод Бернулли.

4. Метод моделирования, когда процесс функционирования системы воспроизводится по времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, в отсутствие аналитических зависимостей между входными, выходными параметрами и параметрами состояния системы, – это:

- а) метод Метрополиса;
- б) алгоритм Хошена-Копельмана;
- в) имитационное моделирование;
- г) аналитическое моделирование.

5. Модель, инвариантная ко времени, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

Тема 2. Методы моделирования и классификация математических моделей

Вопросы для собеседования

1. Перечислите методы моделирования и дайте их определение.
2. Перечислите типы математических моделей и дайте их определение.
3. Опишите классификацию типов математических моделей.
4. В чем заключается иерархическая система математических моделей нанообъектов.
5. Опишите понятие модели объекта и необходимость ее использования.
6. Дайте понятие математической модели, принципы ее построения.
7. Объясните различие между аналитическим и имитационным моделированием.
8. Представьте последовательность необходимых шагов вычислительного эксперимента.
9. Опишите способы оценки адекватности полученных моделей.
10. Какие способы исследования моделей вы знаете?

Тестовые задания

1. Любой другой объект, отдельные свойства которого частично или полностью совпадают со свойствами исходного объекта, – это:

- а) компьютерная модель;
- б) модель;
- в) результат численного эксперимента;
- г) динамическая модель.

2. Приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики, – это:

- а) компьютерная модель;

- б) вычислительный эксперимент;
- в) модель;
- г) математическая модель.

3. Метод моделирования, когда модель системы или ее элементов имеет вид функциональных зависимостей между входными, выходными параметрами и параметрами состояния системы, – это:

- а) аналитическое моделирование;
- б) метод Монте-Карло;
- в) имитационное моделирование;
- г) метод Бернулли.

4. Метод моделирования, когда процесс функционирования системы воспроизводится по времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, в отсутствие аналитических зависимостей между входными, выходными параметрами и параметрами состояния системы, – это:

- а) метод Метрополиса;
- б) алгоритм Хошена-Копельмана;
- в) имитационное моделирование;
- г) аналитическое моделирование.

5. Модель, инвариантная ко времени, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

ТЕМА 3. КОМПОНЕНТНОЕ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Вопросы для собеседования

1. В чем заключается компонентное моделирование?
2. В чем заключается объективно - ориентированное моделирование?
3. Какие особенности в постановке и формулировании задач при компонентном моделировании?
4. Какие особенности в постановке и формулировании задач при объективно - ориентированном моделировании?
5. Каким условиям должен отвечать подбор эмпирической формулы при компонентном моделировании?
6. Каким условиям должен отвечать подбор эмпирической формулы при объективно - ориентированном моделировании?
7. В чем заключается этап упрощения уравнений?
8. Каким принципам должно удовлетворять конечное уравнение?
9. Дайте определение динамической системы.

Тема 4. Динамические, гибридные, распределенные системы

Вопросы для собеседования

1. Представьте последовательность необходимых шагов вычислительного эксперимента.
2. Опишите способы оценки адекватности полученных моделей.
3. Какие способы исследования моделей вы знаете?
4. Дайте определение динамической системы.
5. Объясните понятие гибридной системы.
6. Разъясните необходимость использования дискретного времени в моделировании.
7. Объясните различие между временными диаграммами и фазовыми.
8. События, сигналы и сообщения: что общего и в чем различия между этими понятиями?

9. Расскажите о понятии и видах самоорганизации.

Тестовые задания

1. Модель, инвариантная ко времени, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

26. Модель, функционально зависящая от времени, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

3. Модели, в которых существуют функциональные зависимости выходных параметров от входных, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

4. Модели, в которых функциональные зависимости выходных параметров от входных неизвестны, а известно лишь математическое описание выходов в виде функции входов, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

5. Однократное воспроизведение поведения моделируемой системы на интервале модельного времени при фиксированных значениях параметров модели, – это:

- а) прогон;
- б) прокат;
- в) итерация;
- г) интерференция.

6. Обобщенное описание какого-либо компонента системы, включающее в себя модель поведения (функциональную зависимость), коэффициенты, свойства этого объекта, – это:

- а) наследование;
- б) экземпляр класса;
- в) класс;
- г) предок.

7. Конкретный объект с уже определенными свойствами (параметрами) компонента, функционирующий по определенной в прототипе класса модели поведения, – это:

- а) потомок;
- б) предок;
- в) экземпляр класса;
- г) базовый класс.

Тема 5. Методы решения дифференциальных уравнений

Вопросы для собеседования

1. В чем заключаются методы построения и исследования решений?
2. Перечислите методы построения. Приведите примеры.
3. Перечислите виды исследования решений. Приведите примеры.
4. Методы решения дифференциальных уравнений.
5. Дифференциальные уравнения первого порядка.

6. Дифференциальные уравнения Бернулли.
7. Уравнения в полных дифференциалах
8. Дифференциальные уравнения второго порядка.
9. Линейные однородные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами.
10. Линейные неоднородные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами.
11. Линейные однородные дифференциальные уравнения.
12. Дифференциальные уравнения высших порядков.
13. Линейные однородные и неоднородные дифференциальные уравнения высших порядков с постоянными коэффициентами.
14. Линейные однородные и неоднородные дифференциальные уравнения высших порядков.
15. Явная и неявная схема Эйлера.
16. Проблема устойчивости вычислительных схем.
17. Многошаговые методы.
18. Клеточные автоматы.

Тема 6. Фрактальная геометрия

Вопросы для собеседования

1. Объясните понятие фрактала. Приведите примеры построения фрактальных фигур.
2. Расскажите о принципах построения клеточных автоматов.
3. Расскажите о теории перколяции.
4. Приведите понятие перколяционного кластера.
5. Каким образом строится модель АОД?
6. Объясните принцип жестких систем при решении дифференциальных уравнений.
7. Расскажите о проекционных методах в решении дифференциальных уравнений.
8. Какова сущность атомарных моделей, какие типы атомарных моделей вы знаете?
9. Расскажите о принципах моделирования самоорганизации в атомарных системах.
10. Объясните основы моделирования структурных элементов в химических системах.
11. Каковы методы моделирования в нанооптике?

ТЕМА 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ

Вопросы для собеседования

1. В чем особенности визуализационное моделирования?
2. С какой целью применяют в проекте визуализационное моделирование?
3. Каким образом происходит анализ визуализации процесса?
4. Каким образом редактируют данные процесса при его визуализации?
5. В чем особенности вычислительного моделирования?
6. Приведите примеры инженерного моделирования.
7. Приведите примеры программных пакетов для моделирования.
8. В чем особенности программного пакета
9. Какие возможности имеет программный пакет MathCad?
10. В чем особенности программного пакета MATLAB?
11. Какие возможности имеет программный пакет MATLAB?
12. Какие возможности имеет программный пакет MathCad?

Тема 9. Демонстрация классических математических моделей

Вопросы для собеседования

1. Что относится к распределенным системам?
2. В каких системах используют клеточные автоматы?

3. Приведите примеры использования клеточных автоматов?
4. В каких системах используют дифференциальные модели?
5. Приведите примеры использования динамичных моделей?
6. В каких системах используют динамичные модели?
7. Приведите примеры использования дифференциальных моделей?
8. В каких системах используют вероятностные клеточные автоматы?
9. Приведите примеры использования вероятностных клеточных автоматов?

Тестовые задания

1.. Модель, инвариантная ко времени, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

2. Модель, функционально зависящая от времени, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

3. Модели, в которых существуют функциональные зависимости выходных параметров от входных, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

4. Модели, в которых функциональные зависимости выходных параметров от входных неизвестны, а известно лишь математическое описание выходов в виде функции входов, – это:

- а) стохастическая модель;
- б) статическая модель;
- в) динамическая модель;
- г) детерминированная модель.

5. Однократное воспроизведение поведения моделируемой системы на интервале модельного времени при фиксированных значениях параметров модели, – это:

- а) прогон;
- б) прокат;
- в) итерация;
- г) интерференция.

6. Обобщенное описание какого-либо компонента системы, включающее в себя модель поведения (функциональную зависимость), коэффициенты, свойства этого объекта, – это:

- а) наследование;
- б) экземпляр класса;
- в) класс;
- г) предок.

7. Конкретный объект с уже определенными свойствами (параметрами) компонента, функционирующий по определенной в прототипе класса модели поведения, – это:

- а) потомок;
- б) предок;
- в) экземпляр класса;
- г) базовый класс.

8. Объект или процесс, для которого однозначно определено понятие состояния как совокупности некоторых величин в данный момент времени и задан закон, который описывает эволюцию начального состояния с течением времени, – это:

- а) гибридная система;
- б) детерминированная система;
- в) экземпляр класса;
- г) динамическая система.

9. Место «склейки» двух граничащих непрерывных поведений кусочно-непрерывной функции, – это:

- а) временная щель;
- б) стационарная точка;
- в) фазовая диаграмма;
- г) диссипативная структура.

10. Обобщение классических динамических систем, у которых в различных областях фазового пространства меняются уравнения, размерность и состав фазового вектора, – это:

- а) динамическая система;
- б) фрактальная геометрия;
- в) фазовая плоскость;
- г) событийно-управляемые системы.

11. Интегральные кривые, на которых указано направление движения, называются:

- а) фазовая плоскость;
- б) лапласово пространство;
- в) фазовая траектория;
- г) финитное движение.

12. Модели, где переменные изменяются не только во времени, но и в пространстве, называются:

- а) точечные;
- б) распределенные;
- в) диффузионные;
- г) фрактальные.

13. Область науки, изучающая процессы образования структур, называется:

- а) баллистика;
- б) эвристика;
- в) кибернетика;
- г) синергетика.

14. Бесконечно самоподобная геометрическая фигура, каждый фрагмент которой повторяется при уменьшении масштаба, – это:

- а) дерево;
- б) фрактал;
- в) дендрит;
- г) снежинка.

15. Какое множество не относится к фрактальным:

- а) множество Кантора;
- б) кривая Коха;
- в) салфетка Серпинского;
- г) множество целых чисел?

16. Граница, разделяющая области притяжения аттракторов, образованных отображением $z_{n+1}=z_n^2+C$ на комплексной плоскости, называется:

- а) кривая Гивена-Мандельброта;
- б) фрактальное дерево;
- в) множество Жюлиа;
- г) кривая Минковского.

17. Цепочка связанных объектов в теории перколяции называется:

- а) кластер;
- б) порог;

- в) корреляция;
- г) скелет.

18. Кластер, соединяющий две противоположные стороны системы, называется:

- а) не соединяющий;
- б) перколяционный;
- в) эластичный;
- г) сжимающий.

19. Высокоэффективный алгоритм для определения порога перколяции:

- а) метод «предиктор-корректор»;
- б) алгоритм Хошена-Копельмана;
- в) схема Эйлера;
- г) метод Адамса-Башфорта.

20. Модель, описывающая случайное движение (диффузию) молекул, которые могут слипаться при встрече, образуя кластер, – это:

- а) модель Вольтерры-Лотки;
- б) электрический пробой диэлектрика;
- в) брюсселятор;
- г) ограниченная диффузией агрегация.

21. Модель, описывающая образование молнии, – это:

- а) модель Вольтерры-Лотки;
- б) электрический пробой диэлектрика;
- в) брюсселятор;
- г) ограниченная диффузией агрегация.

22. Какая из перечисленных моделей не относится к клеточным автоматам:

- а) игра «Жизнь»;
- б) аттрактор Рёсслера;
- в) модель Винера-Розенблюта;
- г) модель Ва-Тор?

23. Модель Изинга описывает процессы, связанные с:

- а) биологическими популяциями;
- б) химическими реакциями;
- в) магнитными фазовыми переходами;
- г) перколяцией.

Тема 10. Задачи и методы моделирования нанообъектов

Вопросы для собеседования

1. Шредингеровские модели.
2. Теория функционала плотности.
3. Модели молекулярной динамики на первых принципах.
4. Модели классической молекулярной динамики.
5. Моделирование структуры смешанных частиц металлов.
6. Моделирование свойств соединений внедрения.
7. Моделирование структурных элементов металлоорганических соконденсатов.
8. Приближение дискретных диполей.
9. Метод T-матрицы.
10. Метод множественных мультиполей.
11. Метод конечных разностей во временной области.
12. Метод объемных интегральных уравнений.
13. Основные приближения метода. Энергии кластеров.
14. Выбор базисной кластерной фигуры. Вероятности кластеров и подфигур.
15. Условие минимума свободной энергии.

16. Микроскопическая модель внутрикластерной атомной динамики.
17. Термодинамическая модель кластера.
18. Квантово-статистическая модель.
19. Фрактальные модели кластеров.
20. Оболочечные модели кластеров.
21. Структурная модель кластеров.
22. Модель РРК.
23. Модель РРКМ и переходное состояние.
24. Модель фазового пространства.
25. Определение энергий диссоциации с помощью моделей кластерных реакций. Постановка задачи.
26. Основные стадии самоорганизации системы.
27. Предшественники кристаллической структуры.
28. Универсальный принцип структурной эволюции систем.

Перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен.

Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
<p>ОПК-2. Проектирует технологические процессы создания материалов и их обработки с целью достижения требуемого уровня физико-химических свойств</p> <p>ПК-6. Способен моделировать процессы обработок и прогнозировать результаты их осуществления при различных режимах, в том числе с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированного проектирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> - моделирует процессы различных обработок материалов с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированного проектирования; - прогнозирует результаты различных обработок материалов, в том числе с использованием стандартных пакетов компьютерных программ и средств автоматизированного проектирования 				
1.	Задание закрытого типа	<p>Что называют математической моделью?</p> <p>а) приближенное описание технологического процесса;</p> <p>б) математическую зависимость между параметрами сварочного процесса;</p> <p>в) математический расчет взаимодействий объектов реального мира;</p> <p>г) приближенное описание какого-либо класса явлений или объектов реального мира на языке математики.</p>	г	1
2.		<p>Моделирование как эффективный метод исследования:</p> <p>а) построение и изучение</p>	а	1

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		<p>специальных объектов (моделей), свойства которых подобны наиболее важным, с точки зрения исследователя, свойствам исследуемых объектов (оригиналов);</p> <p>б) построение математических зависимостей объектов с окружающим миром;</p> <p>в) графическое представление взаимодействий изучаемых объектов с окружающим миром.</p>		
3.		<p>Что называют «черным ящиком»?</p> <p>а) кибернетический подход к изучению свойств объекта;</p> <p>б) объект исследования, когда известны входные и выходные параметры, но не известны зависимости между ними;</p> <p>в) это управляемые и неуправляемые параметры изучаемого объекта</p>	в	1
4.		<p>Что обозначают понятия «фактор» и «отклик»:</p> <p>а) известные математические величины, характеризующие объект;</p> <p>б) входные величины называют факторами, а зависимость выходной величины от входной – откликом;</p> <p>в) зависимость выходной величины от входной называют фактором, а ее графическое изображение – отклик</p>	б	1
5.		<p>Объект моделирования:</p> <p>а) ограниченная область реальной действительности или область идеальных представлений, подлежащая описанию (моделиро-</p>	в	1

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		ванию) и исследованию; б) нечто реально существующее, или возникающее в нашем сознании и обладающее свойствами, значения которого позволяют нам однозначно распознавать это нечто; в) нечто существующее реально, значения и свойства, которого могут быть описаны математическим образом.		
6.		Этапы математического моделирования: а) построение модели, проверка адекватности модели, модификация модели; б) математический расчет результатов исследований, графическое представление полученного результата, модификация модели; в) построение модели, решение математической задачи, к которой приводит модель, интерпретация полученных следствий из математической модели, проверка адекватности модели, модификация модели.	в	1
7.	Задание открытого типа	Что называют структурой модели статической оптимизации:	входные и выходные векторные переменные связаны математическими зависимостями	1
8.		Что подразумевает системный подход к моделированию:	методологическая концепция, основанная на стремлении построить целостную картину изучаемого объекта с учетом важных для решаемой задачи элементов объекта, связей между ними и внешних связей с другими объектами и окружающей средой.	1
9.		Перечислите основные задачи, решаемые экспери-	Целенаправленное наблюдение за функционировани-	1

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
		ментом:	ем объекта для углубленного изучения его свойств Проверка справедливости рабочих гипотез для разработки на этой основе теории явлений Установление зависимости различных факторов, характеризующих явление, для последующего использования найденных зависимостей в проектировании или управлении исследуемыми объектами	
10.		Что такое рандомизация?	тип научного эксперимента, целью которого является уменьшение определённых источников систематической ошибки	1
11.		Что такое ортогональность плана?	Свойство плана, при котором в матрице сумма построчных произведений любых двух столбцов равна нулю.	1

Полный комплект образцов оценочных материалов по дисциплине приведен в настоящей рабочей программе дисциплины п. 7.3.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Таблица 10 – Технологическая карта рейтинговых баллов по дисциплине

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
Основной блок				
1	<i>Ответ на занятии</i>	15 занятий/(150/15)	10	По плану
2	<i>Выполнение практического задания</i>	15 занятий/(450/15)	30	
Всего			40	-
Блок бонусов				
3	<i>Своевременное выполнение всех заданий</i>	15 занятий/(150/15)	10	По плану
Всего			10	-
Дополнительный блок**				
4	<i>Экзамен</i>		50	
Всего			50	-

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представления
ИТОГО			100	-

Таблица 11 – Система штрафов (для одного занятия из расчета 1 занятие – 100 баллов)

Показатель	Балл
<i>Опоздание на занятие</i>	-10
<i>Нарушение учебной дисциплины</i>	-10
<i>Неготовность к занятию</i>	-20
<i>Пропуск занятия без уважительной причины</i>	-30

Таблица 12 – Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине

Сумма баллов	Оценка по 4-балльной шкале
90–100	5 (отлично)
85–89	4 (хорошо)
75–84	
70–74	
65–69	3 (удовлетворительно)
60–64	
Ниже 60	2 (неудовлетворительно)

При реализации дисциплины в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

Требования к экзамену по дисциплине «Математическое моделирование и современные проблемы наук о материалах и процессах»

К экзамену допускается студент:

- успешно обучающийся в семестре (посещение всех занятий, работа на занятиях);
- экзамен **проводится** в виде собеседования по вопросам дисциплины.

Студент, регулярно занимающийся в семестре на средний балл 70-100, получает соответствующий балл без контрольного испытания.

Вопросы для собеседования (экзамен):

- Опишите понятие модели объекта и необходимость ее использования.
- Дайте понятие математической модели, принципы ее построения.
- Объясните различие между аналитическим и имитационным моделированием.
- Дайте классификацию математических моделей.
- Представьте последовательность необходимых шагов вычислительного эксперимента.
- Опишите способы оценки адекватности полученных моделей.
- Какие способы исследования моделей вы знаете?
- Дайте определение динамической системы.
- Объясните понятие гибридной системы.
- Разъясните необходимость использования дискретного времени в моделировании.
- Объясните различие между временными диаграммами и фазовыми.
- События, сигналы и сообщения: что общего и в чем различия между этими понятиями?

13. Расскажите о понятии и видах самоорганизации.
14. Классифицируйте типы «особых» точек на фазовых диаграммах.
15. Выведите явную вычислительную схему Эйлера.
16. Выведите неявную вычислительную схему Эйлера.
17. Объясните понятие фрактала. Приведите примеры построения фрактальных фигур.
18. Расскажите о принципах построения клеточных автоматов.
19. Расскажите о теории перколяции.
20. Каким образом строится модель АОД?
21. Объясните принцип жестких систем при решении дифференциальных уравнений.
22. Расскажите о проекционных методах в решении дифференциальных уравнений.
23. Какова сущность атомарных моделей, какие типы атомарных моделей вы знаете?
24. Расскажите о принципах моделирования самоорганизации в атомарных системах.
25. Объясните основы моделирования структурных элементов в химических системах.
26. Каковы методы моделирования в нанооптике?
27. Расскажите о принципах моделирования кластерных моделей.
28. Объясните, как описываются кластерные реакции.
29. Что такое САПР? Каково их применение?
30. Расскажите о программах визуализационного моделирования.
31. Программы вычислительного моделирования и их преимущества.
32. Программы инженерного моделирования, принципы их использования.

Критерии оценивания результатов обучения

5 «отлично» 90÷100 баллов	<ul style="list-style-type: none"> - демонстрируются глубокие знания теоретического материала; - умение применять знания теоретического материала: правильное выполнение рабочего чертежа без принципиальных ошибок; - последовательное, правильное, самостоятельное выполнение заданий; - умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
4 «хорошо» 70÷89 баллов	<ul style="list-style-type: none"> - демонстрируются глубокие знания теоретического материала; - умение применять знания теоретического материала: правильное выполнение рабочего чертежа (возможны единичные ошибки, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя); - последовательное, правильное, самостоятельное выполнение всех заданий; - умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
3 «удовлетворительно» 60÷69 баллов	<ul style="list-style-type: none"> - затруднения с комплексной оценкой предложенной ситуации; - неполное теоретическое обоснование, требующее наводящих вопросов преподавателя; - выполнение заданий при подсказке преподавателя; - затруднения в формулировке выводов.
2 «неудовлетворительно» ≤ 59 баллов	<ul style="list-style-type: none"> - неправильная оценка предложенной ситуации; - отсутствие или не полное выполнение индивидуальных заданий; - оценка по тестам ниже 60%; - отсутствие теоретического обоснования выполнения заданий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Основная литература

1. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике : рек. М-вом образования РФ в качестве учебника для студентов высш. техн. учеб. заведений. - 3-е изд. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 496 с. (15 экз.)
2. Математическое моделирование физических процессов в дуге и сварочной ванне [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Рыбачук А.М., Чернышов Г.Г. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703829417.html>
3. Современные проблемы материаловедения и металлургии : кристаллизационные процессы [Электронный ресурс] / Пикунов М.В. - М. : МИСиС, 2016. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876239808.html>

8.2. Дополнительная литература

4. Бордовский Г.А. Физические основы математического моделирования : доп. УМО по направлениям педагогического образования М-ва образования РФ в качестве учеб. пособ. для вузов. - М. : Академия, 2005. - 320 с. (10 экз.)
5. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Под ред. П.В. Трусова - М. : Логос, 2004. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5940102727.html>
6. Математическое моделирование химико-технологических процессов и аппаратов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Заварухин С.Г. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778232846.html>

8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины

1. <https://book.ru/book/>
2. <http://www.studentlibrary.ru/book/>
3. Moodle: Образовательный портал ФГБОУ ВО «АГУ»

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	Аудитория	Плазменная панель – 1 шт., Компьютер – 1 шт.
---	-----------	---

Рабочая программа дисциплины при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).