

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о подписи:
ФИО: Выборнова Любовь Алексеевна
Должность: Ректор
Дата подписания: 15.09.2025
Уникальный программный ключ:
c3b3b9c625f6c113afa2a2c42baff9e05a38b76e

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Поволжский государственный университет сервиса» (ФГБОУ ВО «ПВГУС»)

Высшая школа передовых производственных технологий

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Математическое моделирование»

Направление подготовки:

15.04.02 «Технологические машины и оборудование»

Направленность (профиль):

«Инжиниринг технологических инноваций»

Квалификация выпускника: **магистр**

Тольятти 2025

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование» разработана в соответствии с
- федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования - магистратура по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», утвержденным приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 14 августа 2020 г. № 1026.

Составитель:

д.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

В.И. Воловач
(ФИО)

РПД обсуждена на заседании Высшей школы передовых производственных технологий
26.09.2025 г., протокол № 1

Директор Высшей школы
передовых производственных технологий

д.т.н., доцент
(уч. степень, уч. звание)

В.И. Воловач
(ФИО)

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является:

- является формирование у студентов базовых знаний о методах моделирования технологических машин, оборудования и технологических процессов об общих принципах их построения; о методике вычислительного эксперимента и оценке адекватности моделей; о применении численных методов для анализа и расчета технологических машин, оборудования и технологических процессов, а также технологических схем и исследовании их функционирования; приобретение знаний и навыков использования специализированного программного обеспечения, применяемого на технологических предприятиях и проектных организациях для моделирования и оптимизации цепей аппаратов технологических машин и оборудования и систем управления ими.

1.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Основание (ПС) *для профессиональных компетенций
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования	ИОПК-1.3 Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений	Знает: - Методологические основы системного анализа, применяемые при постановке задач математического моделирования современных технологических машин и комплексов; - Принципы декомпозиции комплексных научно-технических проблем машиностроения на систему локальных, взаимосвязанных расчетных задач; - Классификацию, структуру целевых функций и критерии эффективности, используемые для комплексной оценки работоспособности технологического оборудования; - Методы экспертных оценок, ранжирования и выявления приоритетов при планировании инженерных и научно-исследовательских работ; - Положения теории подобия и анализа размерностей как базис для обоснованного выбора критериев оценки результатов численного моделирования. Умеет: - Формулировать цели и задачи математического исследования на основе анализа реальных производственных проблем и условий работы оборудования; - Строить иерархические структуры задач моделирования - от базовых аналитических оценок до комплексных сопряженных мультифизических расчетов; - Аргументировано выбирать математический аппарат, граничные условия и систему допущений, адекватных специфике исследуемых процессов; - Разрабатывать интегральные критерии оценки результатов моделирования, объединяющие технико-экономические, прочностные и энергетические параметры; - Сопоставлять и анализировать разнородные выходные данные моделирования для принятия оптимальных проектно-конструкторских или эксплуатационных решений.	

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Основание (ПС) *для профессиональных компетенций
		Владеет: - Концептуальным проектированием расчетных моделей на этапе формирования и согласования технических заданий (ТЗ) на проектирование машин; - Применением методик многокритериальной оптимизации конструктивных и режимных параметров технологического оборудования; - Верификацией и валидацией результатов численного моделирования с использованием расчетных критериев сходимости и точности; - Ранжированием рисков и оценки погрешностей при интерпретации данных, полученных в ходе компьютерного анализа (CAE-системы); - Навыками публичной защиты, научной аргументации и отстаивания выбранной стратегии моделирования перед инженерным и академическим сообществом	
ОПК-5 Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	ИОПК-5.1 Демонстрирует знания по разработке аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов ИОПК-5.2 Демонстрирует навык создания прикладных программ расчет	Знает: - Теоретические основы формирования систем дифференциальных, интегральных и алгебраических уравнений, описывающих динамику исполнительных механизмов и приводов технологического оборудования; - Современные численные методы аппроксимации и интегрирования уравнений, включая метод конечных элементов, метод конечных разностей и схемы Рунге - Кутты; - Математические модели и схемы замещения типовых гидравлических, пневматических и электрических приводов, используемых в конструкциях технологических машин; - Фундаментальные законы сохранения (массы, количества движения, энергии), составляющие основу комплексного моделирования взаимосвязанных технологических процессов; - Критерии и условия устойчивости, а также сходимости численных алгоритмов, применяемых при решении жестких систем дифференциальных уравнений. Умеет - Выводить аналитические зависимости для базовых элементов машин и приводов на основе принципов теоретической механики и механики сплошных сред; - Разрабатывать пошаговые вычислительные алгоритмы для численной реализации нестандартных и оригинальных математических моделей; - Интегрировать разнородные физические процессы (включая сопряженные термомеханические и электрогидравлические задачи) в единую систему уравнений; - Самостоятельно программно реализовывать расчетные модули на базе созданных аналитических соотношений и численных методов; - Обосновывать и выбирать оптимальные параметры расчетной сетки и шага интегрирования для обеспе-	

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Основание (ПС) *для профессиональных компетенций
		чения требуемой точности и стабильности вычислений. Владеет - Использованием инструментария аналитических вычислений и символьных преобразований в специализированных программных средах (Wolfram Mathematica, Maple, библиотека SymPy для языка Python); - Созданием оригинального программного кода и расчетных скриптов для численного моделирования (в средах MATLAB / Simulink, Octave или общего назначения - Python, C++); - Применением методик линеаризации нелинейных уравнений реальных приводных систем с целью проведения их предварительного качественного анализа; - Построением обобщенных макромоделей (субмоделей) технологических процессов для их последующей интеграции в профессиональные CAE-комплексы; - Методологией отладки, тестирования и верификации собственных вычислительных алгоритмов на эталонных и академических задачах.	

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к обязательной части Блока 1. Дисциплины (модули) образовательной программы (Общепрофессиональный модуль).

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Объем и структура дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **4 з.е. (144 час.)**, их распределение по видам работ и семестрам представлено в таблице.

Виды учебных занятий и работы обучающихся	Трудоёмкость, час
Общая трудоёмкость дисциплины, час	144
Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий (всего), в т.ч.:	14
занятия лекционного типа (лекции)	6
занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия)	8
лабораторные работы	-
Самостоятельная работа всего, в т.ч.:	121
Самоподготовка по темам (разделам) дисциплины	121
Выполнение курсового проекта / курсовой работы	-
Контроль (часы на экзамен)	9
Промежуточная аттестация	экзамен

Примечание: - объем часов соответственно для заочной формы обучения

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

В процессе освоения дисциплины может применяться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

В процессе освоения дисциплины обучающиеся обеспечены доступом к электронной информационно-образовательной среде и электронно-библиотечным системам.

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые результаты освоения: код формируемой компетенции и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Формы текущего контроля (наименование оценочного сред- ства)
		Контактная работа			Самостоя- тельная рабо- та, час	
		Лекции, час	Лаборатор- ные рабо- ты, час	Практиче- ские заня- тия, час		
ОПК-1 ИОПК-1.3 ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МО- ДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И СИ- СТЕМ. Содержание лекции: Цели и задачи курса. Связь с другими дис- циплинами. Организация изучения дисци- плины. Модель. Моделирование. Класси- фикация моделей. Математическое моде- лирование. Системный подход. Сложная система. Цель, структура и элементный состав системы. Системный анализ. Выде- ление относительно автономных частей системы. Установление связей с другими частями. Декомпозиция системы на со- ставные части. Системный синтез. Состав- ление модели сложного технологического объекта как сложной системы на основе системного анализа и синтеза. Схема по- строения математических моделей техно- логических машин и оборудования и тех- нологического процесса на основе физиче- ского описания природы объекта. Этапы вычислительного эксперимента. Компью- терное моделирование.	1				Лекция- визуализация (в т.ч. в ЭИОС)
	Практическая работа №1 «Системный ана- лиз и концептуальное моделирование тех- нологического оборудования»			1		Отчет по прак- тической работе
	Самостоятельная работа.				15	Самостоятельное изучение учеб- ных материалов; подготовка к практическим занятиям; доклад
ОПК-1 ИОПК-1.3 ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	ТЕМА 2. ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МО- ДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕ- СКИХ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Содержание лекции: Основные исторические этапы развития компьютерного моделирования технологи- ческих машин, оборудования и технологи- ческих процессов. Балансные модели. Пер- сональные компьютеры и универсальные моделирующие программы. Технологи- ческая и экономическая оптимизация. Пер- спективы компьютерного моделирования объектов и систем. Краткий обзор матема- тических и специальных пакетов. исполь-	0,5				Лекция- визуализация (в т.ч. в ЭИОС)

Планируемые результаты освоения: код формируемой компетенции и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
		Контактная работа			Самостоятельная работа, час	
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час		
	зуемых для моделирования технологических объектов и процессов.					
	Практическая работа №2 «Эволюция методов математического моделирования в машиностроении и сравнительный анализ современных расчетных комплексов»			1		Отчет по практической работе
	Самостоятельная работа				15	Самостоятельное изучение учебных материалов; Подготовка к практическим занятиям; Доклад
ОПК-1 ИОПК-1.3 ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	ТЕМА 3. ТИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Содержание лекции: Фундаментальные физические и химические законы как основа для математического моделирования: превращение массы, энергии, законы движения. Математические модели технологических машин и оборудования, основных объектов технологических процессов: модель идеального вытеснения, идеального перемешивания, диффузионная модель, ячеечная модель, комбинированные модели.	0,5				Лекция-визуализация (в т.ч. в ЭИОС)
	Практическая работа №3 «Физико-математические основы и типовые модели механических процессов оборудования»			1		Отчет по практической работе
	Самостоятельная работа				15	Самостоятельное изучение учебных материалов; Подготовка к практическим занятиям
ОПК-1 ИОПК-1.3 ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	ТЕМА 4. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОМОЩИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ. Содержание лекции: Методы расчета термодинамических свойств. Общая последовательность действий при создании моделей технологических машин, оборудования и технологического процесса в специализированном ПО. Термодинамические данные, методы расчета термодинамических свойств. Программные комплексы CAE-систем. Модель объекта в компьютерном тренажерном комплексе: цели, задачи. Модели объектов, пользовательские модели. Программирова-	0,5				Лекция-визуализация (в т.ч. в ЭИОС)

Планируемые результаты освоения: код формируемой компетенции и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Формы текущего контроля (наименование оценочного сред- ства)
		Контактная работа			Самостоя- тельная рабо- та, час	
		Лекции, час	Лаборатор- ные рабо- ты, час	Практиче- ские заня- тия, час		
	ние пользовательских функций на языке C++, Visual Basic.					
	Практическая работа №4 «Сквозное ком- пьютерное моделирование технологиче- ского оборудования»			1		Отчет по прак- тической работе
	Самостоятельная работа				15	Самостоятельное изучение учеб- ных материалов; Подготовка к практическим занятиям
ОПК-1 ИОПК-1.3 ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	ТЕМА 5. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕ- СКИХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. Содержание лекции: Численные методы моделирования техно- логических машин, оборудования и техно- логических систем. Понятие метода конеч- ных элементов, преимущества и недостат- ки конечно-элементного анализа. Области исследования и примеры инженерных при- ложений метода. Процесс разработки ав- томатизированного продукта. Порядок численного моделирования технологиче- ских машин, оборудования и технологиче- ских объектов, материалов и продуктов. Программный комплекс ANSYS Workbench. Схема проекта, панель инстру- ментов. Механический анализ конструк- ций. Моделирование гидродинамических процессов в ANSYS Fluent: постановка задачи, настройка решателя, постпроцес- синг. Технологии виртуальной и допол- ненной реальности для анализа и представ- ления результатов моделирования трех- мерных моделей технологических объек- тов.	1				Лекция- визуализация (в т.ч. в ЭИОС)
	Практическая работа № 5 «Применение метода конечных элементов для численно- го моделирования и виртуальных испыта- ний оборудования»			1		Отчет по прак- тической работе
	Самостоятельная работа					15
ОПК-1 ИОПК-1.3 ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	ТЕМА 6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПО- ВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРО- ЦЕССОВ И АППАРАТОВ С ИСПОЛЬ- ЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛО- ГИЙ. Содержание лекции: Использование информационно-	0,5				Лекция- визуализация (в т.ч. в ЭИОС)

Планируемые результаты освоения: код формируемой компетенции и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Формы текущего контроля (наименование оценочного сред- ства)
		Контактная работа			Самостоя- тельная рабо- та, час	
		Лекции, час	Лаборатор- ные рабо- ты, час	Практиче- ские заня- тия, час		
	моделирующих программных продуктов для проектирования технологических машин, оборудования и технологических схем. Способы задания оборудования, аппаратов и схемы соединения аппаратов в информационно-моделирующих программах. Задание информации о потоках и аппаратах технологической схемы. Анализ действующих производств с помощью программных пакетов. Проектирование оптимальных схем с помощью информационно-моделирующих программ.					
	Практическая работа №6 «Системное моделирование, поверочный расчет и структурно-параметрическая оптимизация взаимосвязанных комплексов технологического оборудования»			1		Отчет по практической работе
	Самостоятельная работа				15	Самостоятельное изучение учебных материалов; Подготовка к практическим занятиям
ОПК-1 ИОПК-1.3 ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	ТЕМА 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ, ОБОРУДОВАНИЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ. Содержание лекции: 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.	1				Лекция-визуализация (в т.ч. в ЭИОС)
	Практическая работа №7 «Моделирование и синтез автоматических систем управления технологическим оборудованием»			1		Отчет по практической работе
	Самостоятельная работа				15	Самостоятельное изучение учебных материалов; Подготовка к практическим занятиям
ОПК-1 ИОПК-1.3	ТЕМА 8. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ, УПРАВЛЕ-	1				Лекция-визуализация (в

Планируемые результаты освоения: код формируемой компетенции и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Формы текущего контроля (наименование оценочного сред- ства)
		Контактная работа			Самостоя- тельная рабо- та, час	
		Лекции, час	Лаборатор- ные рабо- ты, час	Практиче- ские заня- тия, час		
ОПК-5 ИОПК-5.1 ИОПК-5.2	НИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ. Содержание лекции: 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.					Т.ч. в ЭИОС)
	Практическая работа №8 «Интеллектуальное управление и многокритериальная оптимизация систем технологического оборудования»			1		Отчет по практической работе
	Самостоятельная работа				16	Самостоятельное изучение учебных материалов; Подготовка к практическим занятиям
	ИТОГО	6		8	121	

Примечание: - объем часов соответственно для заочной формы обучения

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Общие методические рекомендации по освоению дисциплины, образовательные технологии

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

При проведении учебных занятий по дисциплине обеспечивается развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерских качеств (включая проведение интерактивных лекций, групповых дискуссий, ролевых игр, тренингов, анализ ситуаций и имитационных моделей, преподавание дисциплины в форме курса, составленного на основе результатов научных исследований, проводимых университетом, в том числе с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребностей работодателей).

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов **образовательных технологий**:

- балльно-рейтинговая технология оценивания;
- электронное обучение;
- проблемное обучение;
- разбор конкретных ситуаций;
- информационные технологии: Google-документы

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции по дисциплине применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов. В основу балльно-рейтинговой системы положены принципы, в соответствии с которыми формирование рейтинга студента осуществляется в ходе текущего контроля успеваемости. Максимальное количество баллов в семестре - 100.

4.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины на занятиях лекционного типа

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

Лекционные занятия проводятся в поточной аудитории с применением мультимедийного проектора в виде учебной презентации или в ЭИОС университета.

В ходе лекционных занятий рекомендуется конспектирование учебного материала. Возможно ведение конспекта лекций в виде интеллект-карт.

Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения (конспектируются).

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

4.3. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины на занятиях семинарского типа / на практических занятиях

Практические (семинарские) занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения семинаров и практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические (семинарские) занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- обсуждение вопросов по учебному материалу дисциплины;

- получение умений и навыков составления докладов и сообщений, обсуждения вопросов по учебному материалу дисциплины;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

Практические занятия организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

4.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

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

Самостоятельная работа студентов включает:

- изучение учебной литературы по курсу;
- работу с ресурсами Интернет;
- Подготовка докладов
- подготовку к практическим (семинарским) занятиям;
- выполнение практических заданий;
- подготовку к промежуточной аттестации по курсу.

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

Для обучающихся по заочной форме обучения самостоятельная работа является основным видом учебной деятельности.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный учебный курс, созданный в ЭИОС университета <http://sdo.tolgas.ru/>

Самостоятельная работа обучающихся направлена на закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиска и приобретения новых знаний, а также выполнения учебных заданий, подготовки к предстоящим занятиям, текущему контролю успеваемости и промежуточной аттестации.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Вся литература, включенная в данный перечень, представлена в виде электронных ресурсов в электронной библиотеке университета (ЭБС). Литература, используемая в печатном виде, представлена в научной библиотеке университета в объеме не менее 0,25 экземпляров на одного обучающегося.

Основная литература

1. Бурда, А. Г. Цифровые и математические модели в экономике и управлении : учебник / А. Г. Бурда, С. Н. Косников, О. В. Косникова. - Москва : ИНФРА-М, 2025. - 207 с. - Прил. - URL: <https://znanium.ru/read?id=475269> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-16-114439-8. - Текст : электронный.
2. Бурда, А. Г. Экономико-математические модели управления : учеб. для магистрантов по направлению "Информ. системы и технологии" / А. Г. Бурда, С. Н. Косников. - Документ reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань , 2021. - 174 с. : ил. - URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/159465/#1> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-8114-5848-6. - Текст : электронный.
3. Пен, Р. З. Статистические методы математического моделирования, анализа и оптимизации технологических процессов : учеб. пособие / Р. З. Пен, В. Р. Пен. - Изд. 3-е, стер. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. - 305 с. - Прил. - URL:

<https://reader.lanbook.com/book/264239> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-507-45300-9. - Текст : электронный.

4. Семькина, Н. А. Методы теории оптимального управления в задачах защиты компьютерных систем от вирусных атак : учеб. пособие по специальности 10.05.01 Компьютер. безопасность / Н. А. Семькина ; Твер. гос. ун-т. - Документ read. - Тверь : ТГУ, 2020. - 100 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/217949> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-7609-1574-0. - Текст : электронный.

5. Хуснутдинов, Р. Ш. Экономико-математические методы и модели : учеб. пособие для вузов по специальности "Мат. методы в экономике" / Р. Ш. Хуснутдинов. - Документ read. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 224 с. - (Высшее образование). - Задачи и упр. в конце гл. - URL: <https://znanium.ru/read?id=355917> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-16-005313-4. - 978-5-16-100660-3. - Текст : электронный.

6. Экономико-математические методы в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Мат. методы в экономике" и др. эконом. профилям / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, Н. В. Концевая [и др.] ; под ред. А. Н. Гармаша ; Финансовый ун-т при Правительстве РФ. - Документ read. - Москва : Вузов. учеб. [и др.], 2024. - 415 с. - Прил. - URL: <https://znanium.ru/read?id=434371> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9558-0322-7. - 978-5-16-100631-3. - Текст : электронный.

7. Экономико-математические модели и методы анализа и управления рисками в экономических системах : монография / Е. А. Блинова, В. Д. Богатырев, М. Г. Волынская [и др.] ; Поволж. гос. ун-т сервиса (ФГБОУ ВО "ПВГУС"). - Документ Adobe Acrobat. - Тольятти : ПВГУС, 2025. - 2,97 МБ, 234 с. - URL: <http://elib.tolgas.ru/> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9581-0394-2 : 0-00. - Текст : электронный.

Дополнительная литература

8. Гармаш, А. Н. Математические методы в управлении : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Мат. методы в экономике" / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова. - Документ read. - Москва : Вузов. учеб. [и др.], 2018. - 272 с. - Прил. - URL: <https://znanium.com/read?id=371866> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9558-0200-8. - 978-5-16-500186-4. - Текст : электронный.

9. Дадян, Э. Г. Методы, модели, средства хранения и обработки данных : учебник / Э. Г. Дадян, Ю. А. Зеленков ; Финансовый ун-т при Правительстве Российской Федерации. - Документ read. - Москва : Вуз. учеб. [и др.], 2024. - 168 с. - URL: <https://znanium.ru/read?id=437636> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9558-0490-3. - 978-5-16-104262-5. - Текст : электронный.

10. Золкин, А. Л. Методы идентификации и отслеживания объектов в системах дополненной реальности и компьютерного зрения : учеб. пособие / А. Л. Золкин. - Документ read. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2025. - 170 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/505478> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-507-53151-6. - Текст : электронный.

11. Корнилов, Г. П. Моделирование электротехнических комплексов промышленных предприятий : учеб. пособие / Г. П. Корнилов, А. А. Николаев, Т. Р. Храмшин. - Изд. 2-е, испр. - Документ Reader. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. - 240 с. - Прил. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/152595> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-8114-5367-2. - Текст : электронный.

12. Машунин, Ю. К. Теория управления. Математический аппарат управления в экономике : [учеб. пособие] / Ю. К. Машунин. - Документ read. - Москва : Логос, 2020. - 450 с. - (Новая университетская библиотека). - URL: <https://znanium.com/read?id=367575> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-98704-736-1. - Текст : электронный.

13. Орлова, И. В. Экономико-математические методы и модели: компьютерное моделирование : учеб. пособие для вузов по экон. направлениям / И. В. Орлова, В. А. Половников ; Финансовый ун-т при Правительстве РФ. - 3-е изд., перераб. и доп. - Документ read. - Москва :

Вузов. учеб. [и др.], 2024. - 388 с. - Прил. - URL: <https://znanium.ru/read?id=430073> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9558-0208-4. - 978-5-16-101114-0. - Текст : электронный.

14. Орлова, И. В. Экономико-математическое моделирование. Практическое пособие по решению задач в Excel и R : [учеб. пособие] / И. В. Орлова, М. Г. Бич ; Финанс. ун-т при Правительстве РФ. - 3-е изд., испр. и доп. - Документ read. - Москва : Вузов. учеб. [и др.], 2023. - 190 с. - Прил. - URL: <https://znanium.ru/read?id=421249> (дата обращения: 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-9558-0527-6. - 978-5-16-105235-8. - Текст : электронный.

15. Рейзлин, В. И. Математическое моделирование. Учебное пособие для магистратуры : учеб. пособие / В. И. Рейзлин ; Нац. исслед. Томский политехн. ун-т. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2017. - 126 с. : ил. - (Университеты России). - ISBN 978-5-534-01579-9. - 390526 : 405-90. - Текст : непосредственный.

5.2. Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы, интернет-ресурсы

1. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт.- Москва, 2000. - URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 24.09.2025).- Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.- Текст: электронный.

2. КонсультантПлюс : справочная правовая система: сайт / ЗАО «КонсультантПлюс».- Москва, 1992. - URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 24.09.2025). - Текст : электронный.

3. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса: сайт / ФГБОУ ВО «ПВГУС».- Тольятти, 2010. - URL. : <http://elib.tolgas.ru> (дата обращения 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - Текст : электронный.

4. Электронно-библиотечная система Znanium.com : сайт / ООО "ЗНАНИУМ".- Москва, 2011. - URL: <https://znanium.com/> (дата обращения 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - Текст : электронный.

5. Электронно-библиотечная система Лань : сайт / ООО "ЭБС ЛАНЬ". - Москва, 2011. - URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения 24.09.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей. - Текст : электронный.

5.3. Программное обеспечение

Информационное обеспечение учебного процесса по дисциплине осуществляется с использованием следующего программного обеспечения (лицензионного и свободно распространяемого), в том числе отечественного производства:

№п/п	Наименование	Условия доступа
1	Microsoft Windows	из внутренней сети университета (лицензионный договор)
2	Microsoft Office	из внутренней сети университета (лицензионный договор)
3	Консультант Плюс	из внутренней сети университета (лицензионный договор)
4	СДО MOODLE	из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет (лицензионный договор)

6. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

Занятия лекционного типа. Учебные аудитории для занятий лекционного типа укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (стационарные или переносные наборы демонстрационного оборудования

(проектор, экран, компьютер/ноутбук), учебно-наглядные пособия (презентации по темам лекций), обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие данной программе дисциплины.

Занятия семинарского типа. Учебные аудитории для занятий семинарского типа укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации (стационарные или переносные наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Промежуточная аттестация. Для проведения промежуточной аттестации по дисциплине используются компьютерные классы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета и/или учебные аудитории, укомплектованные мебелью и техническими средствами обучения.

Самостоятельная работа. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде университета. Для организации самостоятельной работы обучающихся используются:

- компьютерные классы университета;
- библиотека (медиазал), имеющая места для обучающихся, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и сети Интернет.

Электронная информационно-образовательная среда университета (ЭИОС). Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) <http://sdo.tolgas.ru/> из любой точки, в которой имеется доступ к информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", как на территории университета, так и вне ее.

ЭИОС университета обеспечивает:

- доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), программам практик, электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочих программах дисциплин (модулей), программах практик;
- формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе сохранение его работ и оценок за эти работы.

В случае реализации образовательной программы с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий ЭИОС дополнительно обеспечивает:

- фиксацию хода образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации и результатов освоения образовательной программы;
- проведение учебных занятий, процедур оценки результатов обучения, реализация которых предусмотрена с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий;
- взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе синхронное и (или) асинхронное взаимодействия посредством сети "Интернет".

7. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

При необходимости рабочая программа дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе для дистанционного обучения. Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК).

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенции по дисциплине применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов. В основу балльно-рейтинговой системы положены принципы, в соответствии с которыми формирование рейтинга студента осуществляется в ходе текущего контроля успеваемости. Максимальное количество баллов в семестре - 100.

Шкала оценки результатов освоения дисциплины, сформированности результатов обучения

Форма проведения промежуточной аттестации	Шкалы оценки уровня сформированности результатов обучения		Шкала оценки уровня освоения дисциплины		
	Уровневая шкала оценки компетенций	100 балльная шкала, %	100 балльная шкала, %	5-балльная шкала, дифференцированная оценка/балл	недифференцированная оценка
Экзамен	допороговый	ниже 61	ниже 61	«неудовлетворительно» / 2	не зачтено
	пороговый	61-85,9	61-69,9	«удовлетворительно» / 3	зачтено
			70-85,9	«хорошо» / 4	зачтено
	повышенный	86-100	86-100	«отлично» / 5	зачтено

По итогам текущей успеваемости студенту может быть выставлена оценка по промежуточной аттестации в соответствии с набранными за семестр баллами (по накопительному рейтингу). Студентам, набравшим в ходе текущего контроля успеваемости по дисциплине от 61 до 100 баллов и выполнившим все обязательные виды запланированных учебных занятий, по решению преподавателя без прохождения промежуточной аттестации выставляется оценка в соответствии со шкалой оценки результатов освоения дисциплины.

Результат обучения считается сформированным (повышенный уровень), если теоретическое содержание курса освоено полностью; при устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний, использует в ответе дополнительный материал; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий, качество их выполнения оценено числом баллов от 86 до 100, что соответствует повышенному уровню сформированности результатов обучения.

Результат обучения считается сформированным (пороговый уровень), если теоретическое содержание курса освоено полностью; при устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при вы-

полнении заданий, качество их выполнения оценено числом баллов от 61 до 85,9, что соответствует пороговому уровню сформированности результатов обучения.

Результат обучения считается несформированным, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже 61, что соответствует допороговому уровню.

Формы текущего контроля успеваемости

Формы текущего контроля	Количество контрольных точек	Количество баллов за 1 контр. точку	Макс. возм. кол-во баллов
Отчет по темам лекционных занятий	8	5	40
Доклад	2	5	10
Отчет по практической работе	8	5	40
Творческий рейтинг (участие в конференциях, олимпиадах и т.п.) Дополнительные баллы за активное изучение дисциплины и др.	1	10	10
Итого по дисциплине			100 баллов

Система оценивания представлена в электронном учебном курсе по дисциплине <http://sdo.tolgash.ru/>.

8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ

8.2.1. Типовые задания к практическим занятиям

Практическая работа № 1. Системный анализ и концептуальное моделирование технологического оборудования

Цель работы: освоение методологии системной декомпозиции сложных машиностроительных объектов, определение междисциплинарных взаимосвязей их элементов и формирование функционально-структурных схем для последующего математического моделирования.

Задание:

- Формулирование цели исследования. Очертить точную цель математического моделирования технического объекта в соответствии с заданным производственным сценарием (например: *оптимизация производительности, снижение металлоемкости конструкции, модернизация узла* или *выявление причин эксплуатационных отказов*);
- Системная декомпозиция. Провести иерархическую декомпозицию исследуемой технологической машины, выделив в ее структуре ключевые автономные физические подсистемы (механическую, гидравлическую, электрическую, тепловую и др.);
- Составление спецификации элементов. Сформировать перечень конструктивных элементов и узлов для каждой выделенной подсистемы, параметры которых критически важны для достижения поставленной цели моделирования;
- Определение входных воздействий. Сформировать вектор входных параметров (включая эксплуатационные нагрузки, физико-механические характеристики перерабатываемого сырья, параметры окружающей среды) и задать граничные условия;
- Определение выходных критериев. Сформировать вектор выходных параметров и интегральных критериев эффективности работы машины, по которым будет производиться оценка результатов моделирования;
- Анализ внутренних взаимосвязей. Выявить внутренние параметры и междисциплинарные связи между подсистемами, детально описав характер и направление передачи энергии, вещества или управляющей информации между ними;

- Графическое моделирование структуры. Разработать функционально-структурную схему (граф связей) объекта как сложной динамической системы в специализированной графической среде (например, *MS Visio*, *Draw.io* или аналогичном редакторе);
- Обоснование допущений. Сформулировать и научно обосновать перечень допущений и идеализаций, необходимых для трансформации реальной конструкции в расчетную схему (с явным указанием факторов, принимаемых как несущественные);
- Проектирование алгоритма эксперимента. Составить пошаговую блок-схему планируемого вычислительного эксперимента (начиная от этапа ввода исходных данных до процедур постобработки и верификации модели);
- Разработка методики валидации. Выбрать критерии адекватности создаваемой математической модели и предложить корректный способ их проверки (например: *сопоставление результатов с данными заводского паспорта оборудования, результатами натурного эксперимента или эталонным аналитическим расчетом*).

Оформить отчёт с таблицами параметров и выводами.

Практическая работа № 2. Эволюция методов математического моделирования в машиностроении и сравнительный анализ современных расчетных комплексов

Цель работы: изучение исторических этапов развития вычислительного моделирования - от классических балансовых уравнений до современных сопряженных мультифизических систем, а также проведение сравнительного экспресс-анализа актуального инженерного программного обеспечения (классов CAD/CAE/Math) применительно к задачам машиностроительного производства.

Задание:

- Расчет базовых балансовых соотношений. Выполнить ручной расчет материального или энергетического баланса простейшего узла технологического оборудования (например: *тепловой баланс редуктора станка или уравнение непрерывности потоков массы на входе и выходе смесителя*), имитируя методологические подходы раннего этапа развития моделирования;
- Аналитическое исследование зависимостей. Построить графики изменения полученных балансовых параметров в зависимости от времени или эксплуатационной нагрузки, используя классические аналитические зависимости;
- Историко-технический анализ. Составить хронологическую таблицу развития расчетных методов и вычислительных систем в машиностроении, выделив ключевые вехи: от внедрения первых ЭВМ до современных облачных и грид-вычислений;
- Анализ ограничений раннего программного обеспечения. Сформулировать основные архитектурные и функциональные ограничения универсальных моделирующих программ прошлых поколений в сравнении со специализированными современными программными комплексами;
- Сравнительный анализ инженерных пакетов. Провести парное аналитическое сравнение двух программных комплексов (по выбору студента из перечня: *ANSYS*, *Abaqus*, *Компас-3D APM*, *MATLAB*, *SolidWorks Simulation*) по следующим критериям: эргономика интерфейса, скорость и автоматизация сеточного разбиения, доступные типы физических анализов;
- Обоснование выбора расчетной среды. Выбрать оптимальный программный комплекс для решения целевой технологической задачи (например: *расчет усталостной прочности вала, моделирование процессов литья пластмасс под давлением или гидродинамический анализ центробежного насоса*) и научно обосновать свой выбор;
- Формирование матрицы оптимизации. Разработать матрицу критериев технологической и экономической оптимизации, необходимых для проведения модернизации выбранного типа технологических машин;
- Математическое моделирование элемента конструкции. Реализовать расчет простейшей расчетной схемы элемента оборудования (например: *определение прогиба двухопорной балки*) в выбранном математическом пакете (*MATLAB*, *SciPy* или *Mathcad*) для оценки эффективности и удобства выполнения повседневных инженерных вычислений;

- Исследование концепции цифровых двойников. Описать общую концепцию и архитектурную схему «цифрового двойника» (Digital Twin) для конкретного вида промышленного оборудования как наиболее перспективного этапа развития современного моделирования;
- Разработка технических требований к инфраструктуре. Сформировать обоснованные технические требования к аппаратному обеспечению рабочей станции (характеристики центрального процессора, объем оперативной памяти, параметры графического ускорителя), предназначенной для проведения ресурсоемких численных экспериментов методами конечных элементов (МКЭ) или конечных объемов (МКО).

Оформить отчет с таблицами параметров и выводами.

Практическая работа № 3. Физико-математические основы и типовые модели механических процессов оборудования

Цель работы: освоение практических навыков применения фундаментальных законов сохранения для математического описания поведения технологических сред и конструирования динамических моделей (перемешивания, вытеснения, ячеечных) с целью анализа и оптимизации работы оборудования.

Задание:

- Дифференциальное моделирование массопотоков. Вывести дифференциальное уравнение материального баланса для непрерывного потока сырья, проходящего через рабочий орган технологической машины, базируясь на фундаментальном законе сохранения массы;
- Формирование теплового баланса. Составить уравнение теплового баланса для локального элемента технологического оборудования (например: *рубашки охлаждения корпуса, зоны трения подшипникового узла или материального цилиндра экструдера*) на основе закона сохранения энергии;
- Анализ динамики аппарата перемешивания. Сформировать аналитическое описание изменения концентрации целевого компонента на выходе из аппарата идеального перемешивания (периодического или непрерывного действия) в условиях ступенчатого возмущения по входному каналу;
- Расчет трубчатых и канальных систем. Рассчитать профиль распределения концентраций (или температурного поля) по длине трубчатого аппарата (каналов шнекового экструдера), используя математическую модель идеального вытеснения;
- Ячеечная декомпозиция потоков. Выполнить структурную декомпозицию реального проточного аппарата со сложной динамикой (например, *многозонного лопастного смесителя*) в виде эквивалентной системы последовательно и параллельно соединенных ячеек идеального перемешивания;
- Математическое описание каскадных моделей. Записать систему обыкновенных дифференциальных уравнений для синтезированной ячеечной (каскадной) модели и провести теоретический анализ влияния числа ячеек на общую селективность и эффективность процесса;
- Постановка граничных условий. Сформулировать и обосновать граничные условия (включая граничные условия Данквертса или их упрощенные модификации) для диффузионной модели непрерывного технологического процесса, протекающего с учетом продольного перемешивания сред;
- Сравнительный анализ идеализированных динамических режимов. Провести качественный сравнительный анализ классических моделей идеального вытеснения и идеального перемешивания. Четко выделить их технологические достоинства, недостатки и физические границы применимости в машиностроении;
- Программная реализация расчетных алгоритмов. Разработать программный модуль (скрипт) для численной реализации ячеечной или диффузионной модели в выбранной расчетной среде (*MATLAB, Python/NumPy* или *Mathcad*) и построить выходные кривые отклика (зависимости выходной концентрации от времени);
- Моделирование реальной динамики оборудования. Предложить комбинированную топологическую схему модели (сочетающую в себе зоны застойных объемов, байпасные потоки

и зоны идеального обмена), адекватную для технологической машины с зафиксированным конструктивным дефектом распределения потока сред.

Оформить отчёт с таблицами параметров и выводами.

Практическая работа № 4. Сквозное компьютерное моделирование технологического оборудования

Цель работы: освоение сквозной последовательности создания компьютерных моделей технологических машин в специализированном программном обеспечении, изучение принципов построения динамических тренажерных комплексов и формирование навыков программирования пользовательских функций для расчета нестандартного оборудования.

Задание:

- Проектирование сквозного инженерного алгоритма. Разработать блок-схему сквозного алгоритма компьютерного моделирования машины в САЕ-системах, детально отразив этапы от импорта трехмерной геометрии и генерации расчетной сетки до задания граничных условий и постобработки результатов;
- Спецификация свойств конструкционных материалов. Сформировать перечень физико-механических и реологических свойств конструкционных материалов (включая модуль Юнга, коэффициент Пуассона, пределы текучести и прочности), необходимых для проведения адекватного статического и динамического анализа деталей;
- Математическая формулировка граничных условий. Описать математическую постановку граничных условий для нагруженного узла трения или узла жесткой заделки несущей станины оборудования с явным указанием фиксируемых степеней свободы, приложенных сил, моментов и эпюр давлений;
- Разработка архитектуры тренажерного комплекса. Разработать логическую структуру компьютерного тренажерного комплекса (КТК), предназначенного для подготовки операторов оборудования. Выделить контуры управления, переменные технологического процесса и сформулировать требования к расчету математической модели в режиме реального времени;
- Моделирование переходных и аварийных режимов. Провести декомпозицию динамического режима работы машины (например: *процесса пуска, выбега, останова* или *аварийного заклинивания электропривода*) с представлением его в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ);
- Алгоритмизация нестандартных нагрузок. Составить алгоритм пользовательской функции (макроса или скрипта на языках C++, VBA или Python) для автоматического вычисления переменного во времени усилия или нестандартного закона распределения механической нагрузки на рабочий орган машины;
- Программная реализация расчетного модуля. Написать программный код (скрипт) на выбранном языке программирования, реализующий разработанный алгоритм вычисления оригинальной нагрузки и полностью совместимый с программным интерфейсом приложения (API) используемого инженерного софта;
- Интеграция геометрических и расчетных данных. Спроектировать интерфейс сопряжения (составить карту сквозных переменных) между параметрической геометрической CAD-моделью технологического объекта и его расчетной математической схемой;
- Оптимизация параметров сходимости. Обосновать вычислительные параметры стабилизации динамической модели (включая шаг интегрирования по времени, критерии сходимости по силам и перемещениям) для обеспечения численной устойчивости алгоритма при резких ударных или скачкообразных нагрузках;
- Разработка методики верификации ПО. Разработать методику тестирования и верификации написанного программного кода, включающую стресс-тесты на экстремальные режимы работы оборудования (включая проверку устойчивости к делению на ноль, исключение бесконечных циклов и корректность обработки системных ошибок).

Оформить отчёт с таблицами параметров и выводами

Практическая работа № 5. Применение метода конечных элементов для численного моделирования и виртуальных испытаний оборудования

Цель работы: освоение сквозного порядка конечно-элементного моделирования технологических машин, изучение принципов настройки связанных междисциплинарных расчетов (взаимосвязанный анализ конструкционной прочности, теплового и динамического нагружения) и применение технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) для верификации и визуализации полученных результатов.

Задание:

- Проектирование мультифизической схемы. Сформировать структурную схему проекта (Project Schematic) сопряженного мультифизического расчета в выбранной CAE-системе (например, *ANSYS Workbench*), наглядно отобразив сквозную передачу данных из модуля стационарного теплового анализа (*Steady-State Thermal*) в модуль статического прочностного расчета (*Static Structural*);

- Анализ ограничений численного метода. Провести критический анализ метода конечных элементов (МКЭ), составив сводную таблицу его преимуществ, недостатков и физических ограничений при расчете напряженно-деформированного состояния (НДС) крупногабаритных сварных и литых конструкций технологических машин;

- Разработка дорожной карты испытаний. Разработать пошаговую инструкцию («дорожную карту») проведения виртуальных прочностных испытаний исследуемого технологического объекта - от этапа импорта CAD-модели и геометрического конструирования до финальной верификации результатов;

- Топологическое проектирование сетки. Спроектировать топологию расчетной конечно-элементной сетки для узла машины, содержащего явные концентраторы напряжений (галтельные переходы, шпоночные пазы, технологические отверстия). Научно обосновать выбор типа элементов (тетраэдрические или гексаэдрические) и задать параметры локального сгущения сетки;

- Постановка задачи статической прочности. Выполнить математическую и физическую постановку задачи статической прочности для нагруженного узла оборудования: определить типы контактных взаимодействий в сборке (неразъемное жесткое соединение, скольжение с учетом трения) и задать силовые и кинематические граничные условия;

- Моделирование динамических характеристик. Выполнить постановку задачи динамического анализа (в рамках модального анализа *Modal* или анализа гармонического отклика *Harmonic Response*) с целью определения спектра собственных частот колебаний машины и предотвращения опасных резонансных режимов при работе электропривода;

- Моделирование тепловых полей. Разработать расчетную схему теплового нагружения узла оборудования (например, *высокоскоростного шпиндельного узла* или *рабочей зоны прессового оборудования*) с учетом кондуктивной теплопроводности материала и конвективного теплообмена с окружающей средой;

- Проектирование плана постпроцессинга. Сформировать структурированный план постпроцессинга результатов численных испытаний: определить перечень необходимых графических индикаторов, включая изополя эквивалентных напряжений по Мизесу, коэффициенты запаса прочности по различным теориям разрушения, полные деформации и температурные поля;

- Интеграция технологий VR/AR. Разработать и описать сценарий интеграции технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) для интерактивной визуализации внутренних дефектов, скрытых полей напряжений и критических зон технологической машины непосредственно на ее интерактивном цифровом макете;

- Разработка чек-листа контроля качества. Составить экспертный чек-лист контроля качества конечно-элементной модели (Mesh Quality Metrics), регламентирующий проверку геометрических параметров скошенности элементов (*Skewness*) и коэффициента пропорциональности (форм-фактора элементов, *Aspect Ratio*) перед запуском ресурсоемкого численного расчета.

Оформить отчет с таблицами параметров и выводами.

Практическая работа № 6. Системное моделирование, поверочный расчет и структурно-параметрическая оптимизация взаимосвязанных комплексов технологического оборудования

Цель работы: освоение методологии разработки и анализа цифровых моделей взаимосвязанных систем технологического оборудования, изучение принципов описания потоков и аппаратов в современных информационно-моделирующих комплексах, а также освоение методов оптимизации структуры и параметров промышленных схем.

Задание:

- Синтез структурно-топологической схемы. Разработать цифровую структурно-топологическую схему технологической линии или производственного участка в специализированной моделирующей программе, объединив отдельные единицы оборудования в единую систему с помощью материальных и энергетических потоков;
 - Параметризация элементов системы. Сформировать информационные базы параметров для основных аппаратов и машин исследуемой схемы (включая номинальную производительность, рабочее давление, установленную мощность приводов, коэффициенты полезного действия), необходимые для проведения комплексного системного расчета;
 - Идентификация параметров потоков. Задать векторы сквозных технологических потоков, определив физико-механические, компонентные, температурные и реологические характеристики сырья, полуфабрикатов и энергоносителей на входе в систему оборудования;
 - Моделирование узлов распределения. Смоделировать узлы разветвления, сепарации и слияния технологических потоков внутри системы, настроив алгоритмы автоматического распределения нагрузок между параллельно функционирующими машинами и агрегатами;
 - Проведение поверочного расчета и аудита. Выполнить аудит и системный анализ работы действующего производства (в режиме поверочного расчета) на основе реальных цеховых данных с целью выявления латентных «узких мест» схемы;
 - Параметрическая оптимизация схемы. Выполнить оптимизационный расчет параметров и структуры схемы методами параметрического синтеза, обеспечивающий минимизацию суммарного энергопотребления или металлоемкости комплекса оборудования при строгом сохранении заданной производительности линии;
 - Проектирование контуров обратной связи. Разработать и интегрировать в структуру модели контуры автоматического регулирования (обратной связи), обеспечивающие стабилизацию выходных параметров линии в условиях динамических колебаний характеристик входного сырья;
 - Расчет технико-экономической эффективности. Рассчитать интегральные экономические критерии эффективности функционирования модернизированной технологической схемы (включая снижение удельных энергозатрат и сокращение операционных расходов) на основе данных, полученных в ходе математического моделирования;
 - Определение эксплуатационных ограничений. Сформулировать перечень граничных условий и жестких ограничений по безопасной эксплуатации всей системы машин, которые математическая модель не должна нарушать в процессе автоматического поиска оптимальных инженерных решений;
 - Формирование рекомендаций по модернизации. Составить итоговый аналитический отчет по результатам моделирования производственного участка, содержащий детальную сравнительную таблицу показателей системы до и после оптимизации, а также аргументированные рекомендации по модернизации реального парка оборудования.
- Оформить отчет с таблицами параметров и выводами.

Практическая работа № 7. Моделирование и синтез автоматических систем управления технологическим оборудованием

Цель занятия: освоение методологии математического описания технологического оборудования как объекта автоматического управления, определение динамических характеристик каналов регулирования, а также компьютерный синтез и настройка замкнутых систем управления с обратной связью.

Задание:

- Формализация объекта управления. Выполнить математическую формализацию исследуемой технологической машины как объекта управления: составить перечень регулируемых координат, управляющих (входных) воздействий и внешних случайных возмущений;
 - Построение структурной матрицы каналов. Разработать структурную матрицу каналов управления и возмущений оборудования для количественной и качественной оценки степени влияния входных параметров на выходные показатели работы системы;
 - Расчет статических коэффициентов. Рассчитать статические коэффициенты усиления объекта по различным каналам на основе уравнений стационарного (установившегося) режима работы машины и обосновать выбор наиболее чувствительного канала управления;
 - Определение динамических параметров. Определить основные динамические параметры (постоянные времени, время чистого транспортного запаздывания) для каждого канала и составить соответствующие им дифференциальные уравнения;
 - Вывод передаточных функций. Вывести передаточные функции отдельных каналов управления, осуществив переход от дифференциальных уравнений к операторной форме с помощью преобразования Лапласа, и выявить наименее инерционный канал;
 - Моделирование переходных характеристик. Смоделировать кривую разгона (переходную функцию) технологического объекта в специализированной расчетной среде (например, *MATLAB/Simulink* или *Python/SciPy*) при подаче на вход ступенчатого управляющего воздействия;
 - Исследование устойчивости к возмущениям. Исследовать реакцию разработанной модели на типовые внешние возмущения (гармонические, импульсные, линейно нарастающие) и выполнить расчет динамической ошибки системы в разомкнутом состоянии (без регулятора);
 - Синтез замкнутой структурной схемы. Разработать структурную блок-схему замкнутой системы автоматического регулирования (САР) машиной по принципу отклонения (с обратной связью), интегрировав в нее математические модели измерительного преобразователя (датчика), исполнительного механизма (привода) и автоматического регулятора;
 - Параметрический синтез регулятора. Провести параметрический синтез и настройку коэффициентов регулятора (реализующего П-, ПИ- или ПИД-закон управления) с использованием классических инженерных методов (например, *метода Циглера - Никольса*) или встроенных алгоритмов оптимизации программного комплекса;
 - Анализ качества регулирования. Оценить качество регулирования синтезированной замкнутой САР по полученным графикам переходных процессов: рассчитать показатели перерегулирования, времени регулирования, степени затухания колебаний и статической точности.
- Оформить отчет с таблицами параметров и выводами.

Практическая работа № 8. Интеллектуальное управление и многокритериальная оптимизация систем технологического оборудования

Цель занятия: изучение принципов проектирования сложных многоконтурных структур автоматического управления технологическими машинами (включая каскадные, адаптивные системы и контуры регулирования соотношения параметров) и освоение методов разработки алгоритмов оптимизации режимов их работы на основе функционалов эффективности.

Задание:

- Моделирование систем регулирования соотношения. Построить расчетную модель контура автоматического регулирования соотношения двух технологических потоков (например: *«топливо - воздух»* для промышленной печи или *«компонент А - компонент Б»* для смесительного оборудования), обеспечивающую жесткую пропорциональность подачи при динамическом изменении расхода ведущего потока;
- Проектирование каскадных структур. Спроектировать структурную схему каскадного (двухконтурного) автоматического управления для инерционного технологического объекта (например: *стабилизация температурного поля в зоне прессования материального цилиндра экструдера с коррекцией по расходу теплоносителя*). В структуре схемы явно выделить внутренний (быстродействующий) и внешний (главный, стабилизирующий) контуры регулирования;

- Разработка алгоритмов косвенных измерений. Разработать алгоритм управления по вычисляемой (виртуальной) переменной для косвенной оценки параметров технологической машины, прямое измерение которых физическими датчиками невозможно или затруднено (например: *динамическое вычисление текущего крутящего момента на рабочем валу по параметрам потребляемого тока и мгновенной частоте вращения ротора электродвигателя*);
 - Разработка логики приоритетного управления. Сформулировать логику приоритетного автоматического управления (*Override Control*), обеспечивающую противоаварийную защиту технологического оборудования в экстремальных режимах работы (на примере *регулирования производительности насосного агрегата с автоматическим перехватом управления при превышении критического давления в напорной магистрали*);
 - Синтез адаптивных систем регулирования. Составить концептуальную схему и алгоритмическую структуру адаптивного управления технологической машиной, способной автоматически перестраивать динамические коэффициенты регулятора при резком изменении физико-механических и реологических свойств обрабатываемого материала (например: *при скачкообразном изменении жесткости, вязкости или влажности поступающего сырья*);
 - Математическая постановка задачи оптимального управления. Сформулировать математическую постановку задачи оптимального управления для заданного исполнительного органа или узла оборудования: четко определить цель управления, вектор независимых управляющих воздействий, систему фазовых ограничений и краевые условия (начальное и конечное состояния динамической системы);
 - Конструирование критерия оптимальности. Записать критерий оптимальности (целевой функционал), количественно отражающий технико-экономическую эффективность работы машины (например: *минимизация удельных затрат энергии на единицу готовой продукции или достижение максимального быстродействия и точности позиционирования исполнительного механизма при минимальных динамических нагрузках*);
 - Обоснование математического метода оптимизации. Выбрать и теоретически обосновать оптимальный метод математического программирования, адекватный специфике ограничений и физической природе вашей технологической машины (из перечня: *классическое вариационное исчисление, принцип максимума Понтрягина, динамическое программирование Беллмана или стохастические метаэвристические алгоритмы*);
 - Алгоритмизация поиска оптимальных траекторий. Разработать пошаговую блок-схему алгоритма оптимального управления, описывающую логику вычисления и формирования оптимальной траектории движения рабочих органов или изменения параметров технологической системы в режиме реального времени;
 - Анализ устойчивости на границах диапазонов. Провести экспресс-анализ устойчивости и робастности синтезированной системы автоматического управления на границах эксплуатационного диапазона регулирования, указав возможные риски потери устойчивости (например, *возникновение автоколебаний или насыщение исполнительных механизмов*) при реализации оптимальных траекторий.
- Оформить отчет с таблицами параметров и выводами.

Темы докладов

1. Системный анализ и принципы декомпозиции при концептуальном проектировании тяжелого машиностроительного оборудования.
2. Эволюция вычислительных методов в машиностроении: исторический переход от балансовых аналитических уравнений к сопряженным мультифизическим расчетам.
3. Критерии адекватности, процедуры верификации и валидации компьютерных моделей технологических машин в рамках современных отраслевых стандартов.
4. Архитектурные принципы и технологии реализации концепции цифровых двойников технологического оборудования в сравнении с классическими моделями инженерного анализа.
5. Высокопроизводительные вычислительные кластеры и облачные платформы в решении ресурсоемких задач механики сплошных сред.

6. Математическое моделирование нестационарных тепловых балансов и температурных полей в рабочих зонах машин на основе законов сохранения энергии.
7. Применение интегральных и дифференциальных законов сохранения массы и количества движения при анализе непрерывных материальных потоков в перерабатывающем оборудовании.
8. Феноменологические уравнения в математическом моделировании процессов износа и триботехнических характеристик сопряженных элементов машин.
9. Теория подобия и анализ размерностей при масштабном переходе от лабораторных и опытно-промышленных образцов к промышленным агрегатам.
10. Методология идеализации и линеаризации нелинейных механических систем при формировании расчетных схем сложного технологического оборудования.
11. Сравнительный анализ алгоритмов аппроксимации и интегрирования, составляющих основу современных вычислительных модулей конечно-элементного анализа.
12. Методология междисциплинарного моделирования связанных термомеханических процессов в высоконагруженных узлах и деталях машин.
13. Методология генерации расчетных пространственных сеток для сложнопрофильных деталей машин: оценка качества дискретизации, критерии скошенности и деформации конечных элементов.
14. Моделирование усталостной прочности и оценка остаточного ресурса несущих металлоконструкций технологического оборудования методами конечно-элементного анализа.
15. Виртуальные испытания динамической устойчивости и вибрационных характеристик роторных машин с целью предотвращения резонансных режимов работы.
16. Автоматизация инженерных расчетов и разработка пользовательских макросов в средах конечно-элементного анализа с использованием объектно-ориентированного программирования и прикладных интерфейсов.
17. Технологии виртуальной и дополненной реальности в задачах интерактивной визуализации и экспертного анализа результатов численного моделирования механики сплошных сред.
18. Архитектура сквозного информационного моделирования в жизненном цикле проектирования автоматизированных линий и комплексов промышленного оборудования.
19. Методы структурно-параметрического синтеза и оптимизации потоковых схем производственных участков с целью минимизации удельных энергозатрат.
20. Системный аудит и выявление критических зон функционирования действующих машиностроительных производств на основе имитационного компьютерного моделирования.
21. Методы экспериментально-аналитической идентификации технологических машин как объектов автоматического регулирования.
22. Компьютерное моделирование и методы параметрического синтеза пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов в контурах стабилизации приводов.
23. Проектирование и численный анализ многоконтурных и приоритетных систем автоматизации для противоаварийной защиты оборудования в экстремальных режимах работы.
24. Принципы адаптивного управления в технологических агрегатах, функционирующих в условиях нестационарных характеристик перерабатываемого сырья.
25. Синтез алгоритмов оптимального управления технологическим оборудованием по критериям производительности и энергоэффективности на основе принципа максимума Понтрягина.

Вопросы для самоподготовки

Блок 1. Методологические основы, теория систем и история развития вычислительного моделирования

1. Базовые понятия теории моделирования: сущность физической и математической моделей, методология вычислительного эксперимента. Роль и место математического моделирования в проектно-исследовательской деятельности инженера-машиностроителя.

2. Классификация математических моделей технологических машин и оборудования по математической структуре, характеру отражаемых процессов и учету неопределенностей (детерминированные, стохастические, статические и динамические модели).

3. Основные положения системного подхода в инженерных исследованиях. Физическая природа и математическое описание сложных систем, их элементного состава и внутренних структурных связей.

4. Методология системного анализа: принципы и правила декомпозиции сложных технологических комплексов на автономные физические подсистемы различной природы.

5. Методология системного синтеза: принципы агрегирования комплексной математической модели машиностроительного объекта из локальных математических описаний его узлов и механизмов.

6. Хронология развития методов компьютерного инжиниринга: исторический переход от балансовых аналитических уравнений и первых ЭВМ к распределенным и облачным вычислениям.

7. Сравнительный анализ архитектуры, функциональных возможностей и областей применения современных универсальных и специализированных инженерных расчетных комплексов.

8. Концепция цифровых двойников промышленного оборудования: архитектурные уровни, технологии информационного сопряжения и области практической реализации.

9. Методология верификации и валидации разработанных компьютерных моделей машин. Нормативные критерии и отраслевые стандарты оценки адекватности расчетных схем.

10. Специфика архитектуры современных высокопроизводительных вычислительных систем. Обоснование аппаратных требований к рабочим станциям для проведения ресурсоемких численных экспериментов в машиностроении.

Блок 2. Фундаментальные законы физики и аналитические методы моделирования оборудования

11. Фундаментальные законы сохранения массы, количества движения и энергии как физический базис для построения математических моделей технологических сред и исполнительных механизмов.

12. Понятие расчетной схемы машиностроительного объекта. Принципы, критерии и границы применимости идеализации реальных геометрических конструкций при их трансформации в математические описания.

13. Методология аналитического вывода дифференциальных уравнений движения сложных механических систем с использованием уравнений Лагранжа второго рода.

14. Математическое описание стационарных и нестационарных тепловых балансов, а также пространственных температурных полей в высоконагруженных узлах трения и рабочих зонах технологических машин.

15. Физико-математическая формализация процессов изнашивания, контактного трения и интегральных триботехнических характеристик сопряженных деталей оборудования.

16. Положения теории подобия и анализа размерностей. Формирование инвариантных критериев для оценки результатов численного моделирования и масштабирования технологических агрегатов.

17. Аналитические методы линеаризации существенно нелинейных статических и динамических характеристик механизмов и приводов в окрестности установившихся режимов работы.

18. Математическая структура, допущения и особенности формирования систем уравнений для гидро- и пневмоприводов машин в рамках концепции сосредоточенных параметров.

19. Природа возникновения и специфика жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений при математическом описании сопряженных мультифизических процессов в оборудовании.

20. Применение методов математической статистики, регрессионного анализа и метода наименьших квадратов для обработки, аппроксимации и верификации данных натурных инженерных экспериментов.

Блок 3. Конечно-элементный анализ и сквозные CAE-технологии в машиностроении

21. Математическая сущность метода конечных элементов (МКЭ): процедуры дискретизации континуальных областей, построение функций формы и формирование глобальной матрицы жесткости системы.

22. Сравнительный анализ преимуществ, недостатков и физических ограничений МКЭ применительно к расчету напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочечных систем и массивных литых деталей машин.

23. Классификация и критерии обоснованного выбора типов конечных элементов (одномерных балочных, двумерных оболочечных, трехмерных объемных) при формировании расчетных схем машиностроительных конструкций.

24. Методология междисциплинарного моделирования связанных мультифизических процессов (сопряженный термомеханический и прочностной анализ) в высоконагруженных узлах технологического оборудования.

25. Топологические принципы построения расчетных пространственных сеток. Нормативные критерии оценки качества дискретизации: параметры скошенности, коэффициенты пропорциональности и показатели ортогональности элементов.

26. Методика проведения виртуальных прочностных испытаний технологических объектов: классификация и задание контактных взаимодействий в сборках, определение силовых и кинематических граничных условий.

27. Динамический анализ технологического оборудования: математическая постановка и численные алгоритмы решения задач модального анализа и анализа гармонического отклика.

28. Математические подходы и критерии разрушения, применяемые для оценки усталостной прочности, циклической долговечности и остаточного ресурса несущих металлоконструкций машин.

29. Принципы автоматизации инженерных расчетов: использование прикладных программных интерфейсов (API) и объектно-ориентированных языков программирования в современных CAE-комплексах.

30. Архитектура и сценарии интеграции технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) в задачи экспертного анализа и пространственной визуализации результатов конечно-элементного моделирования.

Блок 4. Информационное моделирование и методы оптимизации технологических систем

31. Регламентированная последовательность и этапность выполнения инженерно-исследовательских работ при создании комплексных расчетных моделей оборудования в специализированных программных средах.

32. Методологические принципы сквозного информационного моделирования и управления жизненным циклом изделий (концепции PLM и BIM) при проектировании автоматизированных производственных линий и технологических комплексов.

33. Математические способы и численные алгоритмы описания материально-энергетических потоков, технологических аппаратов и топологии связей между ними в информационных моделирующих комплексах.

34. Методы математического описания и расчета параметров в узлах разветвления, сепарации, слияния и рециркуляции потоков сред внутри сложных многокомпонентных систем машин.

35. Методология использования имитационных цифровых моделей для проведения системного аудита, выполнения поверочных расчетов и выявления критических зон функционирования действующих машиностроительных производств.

36. Математическая постановка задачи параметрической оптимизации конструкций и систем оборудования: формирование целевой функции, определение векторов варьируемых параметров и системы ограничений.

37. Специфика решения задач многокритериальной оптимизации технологических машин: геометрическая интерпретация множества Парето и аналитические методы свертки векторного критерия эффективности.

38. Методы аппроксимации и построения суррогатных макромоделей (аппроксимация поверхностей отклика, кригинг-моделирование) для снижения вычислительной емкости оптимизационных расчетов.

39. Применение методов линейного, нелинейного и динамического программирования для минимизации удельной энергоемкости и материалоемкости комплексов оборудования.

40. Нормативно-правовая база, государственные стандарты (ГОСТ Р) и международные регламенты (ISO, ASME), определяющие требования к точности, достоверности и правилам документирования результатов численного моделирования в машиностроении.

Блок 5. Математическое моделирование и синтез систем автоматического управления оборудованием

41. Методологические принципы математической формализации технологической машины как объекта автоматического регулирования: классификация и структурирование векторов управляющих воздействий, регулируемых координат и внешних случайных возмущений.

42. Идентификация каналов управления и путей распространения внешних возмущений. Физический смысл и математическое представление структурной матрицы чувствительности сложного технологического объекта.

43. Методика аналитического расчета статических коэффициентов усиления оборудования по различным каналам на основе уравнений стационарного (установившегося) режима работы.

44. Методы определения динамических параметров каналов регулирования: расчет постоянных времени и времени чистого транспортного запаздывания по экспериментальным и аналитическим данным.

45. Преобразование дифференциальных уравнений динамики исполнительных механизмов в операторную форму на основе интегрального преобразования Лапласа. Вывод и анализ передаточных функций элементарных динамических звеньев.

46. Методы компьютерного моделирования, линеаризации и анализа кривых разгона (переходных функций) разомкнутых технологических объектов при подаче типовых тестовых воздействий.

47. Математический синтез и топологическое проектирование структурных блок-схем замкнутых систем автоматического регулирования (САР) по принципу отклонения (компенсации с обратной связью).

48. Классические инженерные методы параметрического синтеза и настройки коэффициентов линейных алгоритмов регулирования (П-, ПИ- и ПИД-законов) для стабилизации динамических режимов работы исполнительных органов машин.

49. Принципы построения и математического моделирования сложных САР: каскадных контуров, систем приоритетного управления с автоматическим перехватом координат (*Override Control*) и адаптивных систем со сменяемой структурой регулятора.

50. Математическая постановка задач оптимального управления процессами и машинами: конструирование целевых функционалов эффективности, задание краевых условий и фазовых ограничений, численные алгоритмы поиска оптимальных траекторий движения рабочих органов.

8.3. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине: экзамен (по результатам накопительного рейтинга или в устно-письменной форме по экзаменационным билетам).

Перечень вопросов для подготовки к экзамену

№	Содержание вопроса
ОПК-1 Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования	
1.	В чем заключается специфика применения системного анализа при формулировании целей математического моделирования технологического оборудования?
2.	Каковы основные правила декомпозиции комплексной научно-технической проблемы в машино-

	строении на локальные расчетные задачи?
3.	Что такое целевая функция и чем она отличается от ограничений, накладываемых на математическую модель машины?
4.	Какова классификация критериев эффективности, применяемых для оценки работы сложного технологического оборудования?
5.	В каких случаях при выявлении приоритетов инженерных задач целесообразно использовать методы экспертных оценок (например, метод Дельфи или метод анализа иерархий)?
6.	Как теория подобия и размерностей используется для формирования критериев оценки результатов численного моделирования?
7.	Дайте определение понятию «расчетная схема» и опишите принципы идеализации реальных конструкций машин.
8.	Чем отличаются понятия «верификация» (verification) и «валидация» (validation) при оценке точности математической модели?
9.	Какие основные типы погрешностей (ошибок) возникают на этапе построения концептуальной модели технологической системы?
10.	Что понимается под многокритериальной оптимизацией и почему в реальном машиностроении редко существует одно идеальное решение?
11.	Какие основные типы шкал (номинальная, порядковая, интервальная и др.) используются для измерения критериев оценки результатов исследования?
12.	Как формулируются граничные и начальные условия при переводе физической задачи в математическую плоскость?
13.	В чем суть принципа Парето (множества Парето) при выборе приоритетов и оптимальных решений в инженерных исследованиях?
14.	Какие технико-экономические критерии чаще всего закладываются в целевые функционалы при модернизации парка оборудования?
15.	Опишите алгоритм трансформации абстрактной производственной проблемы (например, «высокий уровень вибрации станины») в четкую научную цель и задачи моделирования.
16.	Каким образом исследователь должен выстраивать иерархию задач при переходе от простых аналитических оценок к связанным мультифизическим КЭ-расчетам?
17.	Как правильно обосновать выбор конкретного математического аппарата (например, дифференциальных уравнений в частных производных против обыкновенных ДУ) для решения поставленной задачи?
18.	Предложите комплексный набор критериев (не менее трех видов) для оценки результатов моделирования процесса термической обработки или наплавки детали..
19.	Каким образом можно сопоставить разнородные параметры моделирования (например, массу конструкции в килограммах и жесткость в Н/мм) для принятия итогового инженерного решения?
20.	Как на этапе постановки задач выявить скрытые взаимосвязи между подсистемами машины (например, тепловым расширением деталей и зазорами в подшипниках)?
21.	Опишите способ ранжирования задач исследования по степени их влияния на конечную энергоэффективность технологической линии.
22.	Какую стратегию выбора допущений вы примените, если перед вами стоит задача смоделировать динамику пуска тяжелого привода за ограниченное время вычислений?
23.	Как сформировать интегральный (обобщенный) критерий оценки качества работы машины, если частные критерии противоречат друг другу?
24.	Как доказать, что выбранные вами критерии оценки результатов исследования являются репрезентативными и объективными?
25.	Каким образом переформулировать задачи исследования, если в процессе промежуточных расчетов модель показала неустойчивость численного алгоритма?
26.	Опишите процесс выбора приоритетных факторов при планировании многофакторного виртуального эксперимента на модели оборудования.
27.	Как корректно интерпретировать расхождение в 15% между результатами численного моделирования прочности вала и данными натурного тензометрирования?
28.	Какими инструментами и методологией вы владеете для составления технического задания (ТЗ) на проведение компьютерного моделирования узла машины?
29.	Опишите ваш опыт использования программных средств (MATLAB, Python, Excel и др.) для свертки векторного критерия эффективности в скалярный при оптимизации оборудования.
30.	Какими методами ранжирования рисков и погрешностей численного моделирования (CAE) вы владеете применительно к оценке надежности конструкций?

31.	Как на практике реализовать процедуру проверки сходимости расчетной сетки (МКЭ) как одного из критериев точности результатов исследования?
32.	Опишите методику защиты и аргументации выбранной вами стратегии моделирования перед научным руководителем или техническим советом предприятия.
33.	Какими способами линеаризации нелинейных характеристик оборудования вы владеете для проведения экспресс-анализа на этапе целеполагания?
34.	Каков ваш алгоритм действий при обнаружении логического разрыва между целями исследования и полученными критериями оценки в готовой модели?
35.	Опишите опыт построения графа связей сложной технологической системы для визуализации приоритетности решения локальных задач.
36.	Какими методами теории чувствительности вы владеете для определения параметров машины, оказывающих наибольшее влияние на критерий оптимальности?
37.	Как на практике применить метод анализа иерархий (Саати) для выбора лучшего конструктивного варианта технологического агрегата по результатам моделирования?
38.	Какими нормативными документами, ГОСТами или международными стандартами (ISO/ASME) вы руководствуетесь при формировании требований к точности компьютерных моделей?
39.	Каким инструментарием автоматизации (скрипты, макросы) вы владеете для проведения серии расчетов при поиске экстремума целевой функции оборудования?
40.	Как вы сформулируете выводы научного исследования, чтобы они напрямую отражали степень выполнения задач, поставленных на первом этапе работы?
ОПК-5 Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	
41.	Каковы базовые этапы аналитического вывода дифференциальных уравнений движения сложных механических систем машин?
42.	В чем заключается фундаментальное различие между явными (Explicit) и неявными (Implicit) численными методами интегрирования уравнений динамики оборудования?
43.	Какие законы механики сплошных сред лежат в основе математических моделей термомеханических процессов в деталях машин?
44.	Что такое «жесткие» системы дифференциальных уравнений (Stiff ODEs) и какие численные методы применяются для их решения в задачах моделирования приводов?
45.	Сформулируйте суть метода конечных элементов (МКЭ) применительно к расчету напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов оборудования.
46.	Какие численные методы используются для поиска собственных частот и форм колебаний несущих систем технологических машин в задачах модального анализа?
47.	Каковы условия устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (CFL) при численном моделировании быстропротекающих динамических процессов?
48.	В чем различие между линейными и нелинейными математическими моделями исполнительных механизмов технологического оборудования?
49.	Каковы основные математические способы описания нестационарных тепловых процессов в термонагруженных узлах трения машин?
50.	Что такое аппроксимация, сходимость и устойчивость численного метода при решении уравнений математической модели?
51.	Какие типы конечных элементов (по геометрии и порядку аппроксимации) предпочтительны для точного аналитического описания изгибных деформаций станин машин?
52.	Как математически описывается явление демпфирования (рассеяния энергии) в динамических моделях механических систем оборудования?
53.	Какие методы аппроксимации функций (интерполяция сплайнами, метод наименьших квадратов) используются для обработки экспериментальных данных при построении полуэмпирических моделей?
54.	Какова математическая структура модели гидро- или пневмопривода технологической машины в сосредоточенных параметрах?
55.	Сформируйте пошаговый алгоритм аналитического вывода уравнений баланса сил для рычажного или кулисного механизма машины.
56.	Каким образом можно составить численную схему решения нелинейного уравнения жесткости методом Ньютона-Рафсона в САЕ-системах?
57.	Опишите процедуру линеаризации нелинейной характеристики гидропривода или упругой муфты в окрестности рабочей точки.

58.	Как составить разностную схему (метод конечных разностей) для одномерного уравнения распределения температур по толщине стенки корпуса машины?
59.	Продemonстрируйте алгоритм выбора оптимального шага интегрирования по времени для расчета переходного процесса в электроприводе оборудования.
60.	Как правильно задать условия механического контакта типа «трение/скольжение» между ползуном и направляющими станины в численной модели?
61.	Опишите порядок преобразования системы дифференциальных уравнений высокого порядка, описывающих динамику оборудования, в систему уравнений первого порядка в пространстве состояний.
62.	Каким образом увязать в единую численную модель тепловое расширение вала и изменение зазоров в подшипниковых узлах машины?
63.	Как составить математический алгоритм проверки численной модели машины на чувствительность к изменению упруго-диссипативных свойств материалов?
64.	Опишите способ численного моделирования процесса изнашивания рабочего органа машины при циклическом контакте с обрабатываемым материалом.
65.	Как перевести экспериментальную гистограмму нагружения главного вала машины в аналитическую функцию плотности распределения вероятностей для стохастического моделирования?
66.	Каким образом настроить численный решатель МКЭ для предотвращения эффекта «объемного запираания» (Volumetric Locking) при моделировании несжимаемых полимерных деталей оборудования?
67.	Как составить математическую модель ограничения перемещения (жесткого упора с ударом) в кинематической паре технологического оборудования?
68.	Какими инструментами систем компьютерной алгебры (Wolfram Mathematica, Maple, SymPy) вы владеете для автоматического вывода матриц жесткости и масс механизмов?
69.	Опишите ваш опыт программирования кастомных численных методов (например, метода Рунге-Кутты 4-го порядка) в средах MATLAB или Python.
70.	Какими методами аппроксимации экспериментальных кривых (полиномиальная регрессия, нейросети) для создания суррогатных макромоделей оборудования вы владеете?
71.	Расскажите о практике применения специализированных решателей для жестких систем (например, Radau или BDF в библиотеке <code>scipy.integrate</code>) при моделировании следящих приводов.
72.	Какими навыками программирования пользовательских подпрограмм (User Subroutines: например, UMAT в Abaqus или USERMAT в ANSYS) вы владеете для описания нестандартных свойств конструкционных материалов?
73.	Опишите методику отладки программного кода численного расчета при возникновении вычислительных аномалий (NaN, деление на ноль, расхождение СЛАУ).
74.	Опишите методику отладки программного кода численного расчета при возникновении вычислительных аномалий (NaN, деление на ноль, расхождение СЛАУ).
75.	Каким образом вы реализуете на практике верификацию разработанного численного метода решения краевой задачи?
76.	Какими методами редукции матриц (например, методом Крейга-Бемптона) для ускорения численного расчета крупногабаритного оборудования вы владеете?
77.	Опишите ваш опыт использования технологий параллельных вычислений (OpenMP, MPI) при реализации собственных численных алгоритмов моделирования машин.
78.	Какими инструментами автоматического контроля шага интегрирования по времени (например, по локальной ошибке усечения ЛЕУ) вы пользуетесь в моделирующих программах?
79.	Каким образом на практике вы организуете экспорт и импорт данных между аналитическим софтом (MATLAB/Python) и конечно-элементными комплексами (CAE)?
80.	Какими способами аппроксимации геометрической нелинейности (больших перемещений и поворотов) деталей машин вы владеете при разработке расчетных кодов?