

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Энергообеспечение предприятий

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.09.09
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	8 семестр - 28 часа;
Практические занятия	8 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	8 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	8 семестр - 85,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Валуева Е.П.
	Идентификатор	Ra19c063b-ValuevaEP-dec0a72f

Е.П. Валуева


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пурдин М.С.
	Идентификатор	R73e8cc57-PurdinMS-97ce3ae5

М.С. Пурдин

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Щербатов И.А.
	Идентификатор	R6b2590a8-ShcherbatovIA-d91ec17

И.А. Щербатов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение численных методов решения задач теплообмена применительно к процессам, протекающим в элементах современных теплоэнергетических аппаратов

Задачи дисциплины

- ознакомить обучающихся с численными методами решения задач, описывающих процессы в элементах теплотехнического оборудования;
- дать информацию о корректности поставленной задачи, устойчивости, сходимости, погрешности вычислительного алгоритма;
- научить обоснованному выбору оптимальных параметров численной схемы.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен участвовать в разработке отдельных разделов проектно-конструкторских и технико-экономических расчетов систем энергообеспечения предприятий на основе нормативной документации с использованием современных программных средств	ИД-3ПК-2 Выполняет тепловые и гидравлические расчеты систем технологических систем, процессов и оборудования	знать: - основные законы конвективного теплообмена и классификацию математических уравнений, описывающих процессы, протекающие в элементах теплообменного оборудования; - существующие методы математического моделирования указанных процессов; - методы анализа устойчивости вычислительного алгоритма. уметь: - найти оптимальные параметры численной схемы; - доказать устойчивость выбранного вычислительного алгоритма; - выбрать из существующих методов математического моделирования наиболее приемлемый для моделирования конкретного процесса теплообмена; - сформулировать физическую и математическую постановку, описывающую процессы теплообмена в различных технических устройствах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергообеспечение предприятий (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основные понятия математического моделирования	4	8	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основные понятия математического моделирования"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основные понятия математического моделирования" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные понятия математического моделирования"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 43-79</p>	
1.1	Основные понятия математического моделирования	4		2	-	-	-	-	-	-	-	-	2		-
2	Численное решение нелинейных уравнений	4		2	-	-	-	-	-	-	-	-	2		-
2.1	Численное решение нелинейных уравнений	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Численное решение нелинейных уравнений"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Численное решение нелинейных уравнений" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение</p>	

													дополнительного материала по разделу "Численное решение нелинейных уравнений" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 8-120 [7], 5-215
3	Численное интегрирование	4	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Численное интегрирование"
3.1	Численное интегрирование	4	2	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Численное интегрирование" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Численное интегрирование" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 375-408 [7], 5-215
4	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей	60	12	-	18	-	-	-	-	-	30	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>
4.1	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей	60	12	-	18	-	-	-	-	-	30	-	Изучение материала по разделу "Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей" <u>Изучение материалов литературных источников:</u>

													[2], 23-43; 78-79; 91-95; 190-192 [4], 3-26 [6], 4-13 [7], 5-215
5	Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей	36	10	-	10	-	-	-	-	-	16	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>
5.1	Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей	36	10	-	10	-	-	-	-	-	16	-	Изучение материала по разделу "Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 57-72; 117-132; 147-178 [3], 3-17 [5], 3-15 [7], 5-215
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	28	-	28	-	2	-	-	0.5	52	33.5	
	Итого за семестр	144.0	28	-	28		2		-	0.5		85.5	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основные понятия математического моделирования

1.1. Основные понятия математического моделирования

Понятие математического моделирования. Алгоритмическая схема: физическая постановка задачи, примеры; математическое описание задачи, примеры; метод численного решения (численная схема), примеры; создание компьютерной программы и расчеты с ее использованием; анализ результатов; уточнение математического описания (модели), численной схемы, проведение тестовых и систематических расчетов. Основные понятия вычислительного моделирования: корректность математической постановки задачи, устойчивость вычислительного алгоритма.

2. Численное решение нелинейных уравнений

2.1. Численное решение нелинейных уравнений

Локализация корней. Метод бисекции. Итерационные методы. Метод Ньютона (касательных). Метод хорд (секущих).

3. Численное интегрирование

3.1. Численное интегрирование

Квадратурные формулы интерполяционного типа. Формулы Ньютона-Котеса. Квадратурные формулы Гаусса.. Примеры. Вычисление интегралов от функций с особенностями. Представление функции в виде произведения, пример. Аддитивное представление функции, пример. Представление для периодических функций, пример..

4. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей

4.1. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей

Понятие о разностном методе решения. Сетка и сеточная функция. Аппроксимация, сходимость, устойчивость схемы. Точность (погрешность) решения. Характеристики разностной схемы (порядок аппроксимации, сходимость, устойчивость, монотонность и т.д.). Разностное решение обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Аппроксимация первой производной односторонними разностями, центральной разностью. Схема Эйлера. Неявная схема. Схема предиктор-корректор. Сравнительный анализ трех схем. Схемы высокого порядка. Метод Рунге-Кутты. Разностное решение обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка. Разностная аппроксимация второй производной. Аппроксимация граничных условий двухточечным уравнением с первым и вторым порядком. Задача Коши. Разностный метод решения. Устойчивость разностной схемы. Краевая задача. Разностный метод решения. Устойчивость разностной схемы. Метод прогонки. Формулы прогонки. Прямая и обратная прогонка. Условия вычислимости прогоночных коэффициентов, устойчивости, монотонности прогонки. Метод аппроксимации первой производной (центральная разностная схема, схема "против потока"). Сеточное число Рейнольдса. Схема Самарского. Сравнительный анализ трех схем. Понятие консервативности схемы. Дивергентная форма записи исходного дифференциального уравнения. Примеры консервативной и неконсервативной схем для уравнения теплопроводности с переменным коэффициентом теплопроводности. Иллюстрация появления фиктивного источника в неконсервативной схеме. Консервативный способ аппроксимации граничных условий. Сравнение с неконсервативным способом. Разностный метод решения автомодельных задач пограничного слоя..

5. Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей

5.1. Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей

Классификация дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных. Примеры. Постановка граничных условий, обеспечивающая корректность задачи. Разностное решение дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа. Модельное уравнение, граничные условия. Явная схема. Неявная схема. Общая схема. Устойчивость. Схема Кранка-Никольсона. Схемы для уравнения параболического типа с двумя производными первого порядка. Устойчивость и монотонность прогонки. Разностное решение задачи о течении жидкости в канале. Метод расщепления. Разностное решение дифференциальных уравнений в частных производных эллиптического типа. Модельное уравнение, разностная аппроксимация. Аппроксимация первых производных. Итерационные методы решения системы пятиточечных алгебраических уравнений (Якоби, Гаусса-Зейделя, переменных направлений). Метод релаксации, верхняя, нижняя, полная и оптимальная релаксация. Зависимость коэффициента релаксации от входных данных. Разностное решение дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа. Разностное решение уравнения гиперболического типа первого порядка. Понятие характеристики. Примеры. Разностные схемы для решения уравнений гиперболического типа: "правый угол", "левый угол", неявная схема..

3.3. Темы практических занятий

1. Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей;
2. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей;
3. Численное интегрирование;
4. Численное решение нелинейных уравнений;
5. Основные понятия математического моделирования.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные понятия математического моделирования"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Численное решение нелинейных уравнений"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Численное интегрирование"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
Знать:							
методы анализа устойчивости вычислительного алгоритма	ИД-3пк-2			+	+		Тестирование/Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей
существующие методы математического моделирования указанных процессов	ИД-3пк-2		+	+			Тестирование/Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей
основные законы конвективного теплообмена и классификацию математических уравнений, описывающих процессы, протекающие в элементах теплообменного оборудования	ИД-3пк-2	+	+				Тестирование/Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования
Уметь:							
сформулировать физическую и математическую постановку, описывающую процессы теплообмена в различных технических устройствах	ИД-3пк-2	+	+	+	+		Контрольная работа/Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования
выбрать из существующих методов математического моделирования наиболее приемлемый для моделирования конкретного процесса теплообмена	ИД-3пк-2	+	+	+	+		Контрольная работа/Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования
доказать устойчивость выбранного вычислительного алгоритма	ИД-3пк-2	+	+	+	+		Контрольная работа/Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования
найти оптимальные параметры численной схемы	ИД-3пк-2		+	+	+	+	Контрольная работа/Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования (Тестирование)
2. Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования (Контрольная работа)
3. Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей (Тестирование)
4. Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №8)

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров : учебное пособие для втузов / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченова . – 2-е изд., доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 596 с. - ISBN 5-7046-0919-8 .;
2. Пасконов, В. М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена : учебное пособие по специальности "Прикладная математика". "Физика"и "Механик" / В. М. Пасконов, В. И. Полежаев, Л. А. Чудов . – М. : Наука, 1984 . – 285 с.;
3. Валуева, Е. П. Разностный метод решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих прикладные задачи тепло- и массообмена : Учебное пособие по курсу " Вычислительное моделирование процессов тепло-и массообмена" по направлению "Промышленная теплоэнергетика" / Е. П. Валуева, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 24 с. - ISBN 5-7046-0380-7 .;
4. Валуева, Е. П. Численные решение автомодельных задач теплообмена : учебное пособие по курсам "Численные методы решения технических задач", "Тепломассоперенос в элементах теплотехнического оборудования" по направлению "Теплоэнергетика" / Е. П. Валуева, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – 2-е изд. перераб. и доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2014 . – 28 с. - ISBN 978-5-7046-1538-5 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=7028>;
5. Лабораторные работы по курсу"Процессы переноса тепла и массы" / Е. П. Валуева, В. Н. Попов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1997 . – 40 с.;
6. Валуева, Е. П. Методические указания к выполнению расчетного задания «Численное решение автомодельных задач теплообмена» : методическое пособие по курсам

"Тепломассоперенос в элементах теплотехнического оборудования", "Численные методы моделирования" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / Е. П. Валуева, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2014 . – 16 с. - книга только в электронном виде, перейти по ссылке в Электронную библиотеку МЭИ .

[http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=7010;](http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=7010)

7. Очков В.Ф.- "Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики", Издательство: "МЭИ", Москва, 2019

[https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013564.html.](https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013564.html)

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. SmathStudio.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Г-406, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Г-419, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-419, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-104-5, Преподавательская каф. "ТМПУ"	стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, документы, журналы, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-02, Архив	стеллаж для хранения книг, стол для работы с документами, стул

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Математическое моделирование в теплоэнергетике

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования (Тестирование)
- КМ-2 Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования (Контрольная работа)
- КМ-3 Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей (Тестирование)
- КМ-4 Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	13
1	Основные понятия математического моделирования					
1.1	Основные понятия математического моделирования		+	+		
2	Численное решение нелинейных уравнений					
2.1	Численное решение нелинейных уравнений		+	+	+	+
3	Численное интегрирование					
3.1	Численное интегрирование			+	+	+
4	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей					
4.1	Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей			+	+	+
5	Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей					
5.1	Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25