

**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**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Математическое моделирование в теплоэнергетике**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

Е.П. Валуева

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

М.С. Пурдин

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гаряев А.Б.
	Идентификатор	R75984319-GariayevAB-a6831ea7

(подпись)

А.Б. Гаряев

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. 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-3 Выполняет тепловые и гидравлические расчеты систем технологических систем, процессов и оборудования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	13
Основные понятия математического моделирования					
Основные понятия математического моделирования	+	+			
Численное решение нелинейных уравнений					
Численное решение нелинейных уравнений	+	+	+	+	
Численное интегрирование					
Численное интегрирование			+	+	+
Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей					

Решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей		+	+	+
Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей				
Решение дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей				+
Вес КМ:	25	25	25	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-3ПК-2 Выполняет тепловые и гидравлические расчеты систем технологических систем, процессов и оборудования	Знать: существующие методы математического моделирования указанных процессов методы анализа устойчивости вычислительного алгоритма основные законы конвективного теплообмена и классификацию математических уравнений, описывающих процессы, протекающие в элементах теплообменного оборудования Уметь: сформулировать физическую и математическую постановку, описывающую процессы	Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования (Тестирование) Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования (Контрольная работа) Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей (Тестирование) Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей (Контрольная работа)

		теплообмена в различных технических устройствах выбрать из существующих методов математического моделирования наиболее приемлемый для моделирования конкретного процесса теплообмена доказать устойчивость выбранного вычислительного алгоритма найти оптимальные параметры численной схемы	
--	--	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент выполняет индивидуальное задание, необходимо выбрать правильный вариант ответа или ответить на вопрос самостоятельно

**Краткое содержание задания:**

Выбрать вариант ответа

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные законы конвективного теплообмена и классификацию математических уравнений, описывающих процессы, протекающие в элементах теплообменного оборудования	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Скорость сходимости метода бисекции:<ol style="list-style-type: none"><li>а) линейная</li><li>б) сверлинейная</li><li>в) квадратичная</li></ol></li><li>2.Скорость сходимости метода Ньютона:<ol style="list-style-type: none"><li>а) линейная</li><li>б) сверлинейная</li><li>в) квадратичная</li></ol></li><li>3.Скорость сходимости метода касательной:<ol style="list-style-type: none"><li>а) линейная</li><li>б) сверлинейная</li><li>в) квадратичная</li></ol></li><li>4.Метод прямоугольников является частным случаем методом Ньютона-Котеса<ol style="list-style-type: none"><li>а) нулевого порядка</li><li>б) первого порядка</li><li>в) второго порядка</li></ol></li><li>5.Метод трапеций является частным случаем методом Ньютона-Котеса<ol style="list-style-type: none"><li>а) нулевого порядка</li><li>б) первого порядка</li><li>в) второго порядка</li></ol></li><li>6.Метод Симпсона является частным случаем методом Ньютона-Котеса<ol style="list-style-type: none"><li>а) нулевого порядка</li><li>б) первого порядка</li><li>в) второго порядка</li></ol></li></ol>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

## **КМ-2. Методы решения нелинейных уравнений и численного интегрирования**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 25**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент выполняет индивидуальное задание, необходимо решить предложенную задачу

**Краткое содержание задания:**

Выполнить задание

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: выбрать из существующих методов математического моделирования наиболее приемлемый для моделирования конкретного процесса теплообмена	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Дать объяснение методу Ньютона-Котеса</li><li>2. Показать порядок частных случаев метода Ньютона-Котеса: прямоугольников, трапеций, Симпсона</li><li>3. Пояснить, как применяются квадратурные формулы Гаусса</li></ol>
Уметь: доказать устойчивость выбранного вычислительного алгоритма	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Сделать графическую иллюстрацию итерационного метода интегрирования</li><li>2. Сделать графическую иллюстрацию метода Ньютона (с доказательством)</li><li>3. Сделать графическую иллюстрацию метода хорд (с доказательством)</li></ol>
Уметь: сформулировать физическую и математическую постановку, описывающую процессы теплообмена в различных технических устройствах	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Привести последовательность процедуры математического моделирования</li><li>2. Дать понятие корректности математической постановки задач и устойчивости вычислительного алгоритма</li><li>3. Показать, как локализуются корни при решении нелинейных уравнений</li></ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*



Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-3. Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент выполняет индивидуальное задание, необходимо выбрать правильный вариант ответа или ответить на вопрос самостоятельно

**Краткое содержание задания:**

Выбрать вариант ответа

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: методы анализа устойчивости вычислительного алгоритма</p>	<p>1.Порядок аппроксимации <math>m</math> и порядок точности <math>n</math> соотносятся как: а) <math>m &gt; n</math> б) <math>m &lt; n</math> в) <math>m = n</math> г) нельзя ответить 2.Для устойчивой разностной схемы модуль множителя перехода <math>g</math> а) <math> g  &gt; 1</math> б) <math> g  &lt; 1</math> в) <math> g  = 1</math> 3.Для монотонной разностной схемы множитель перехода <math>g</math> а) <math> g  &gt; 0</math> б) <math> g  &lt; 0</math> в) <math> g  = 0</math></p>
<p>Знать: существующие методы математического моделирования указанных процессов</p>	<p>1.Схема предиктор-корректор а) первого порядка б) второго порядка в) нулевого порядка 2.Схема Эйлера а) первого порядка б) второго порядка в) нулевого порядка 3.Задача Коши корректна для уравнений а) эллиптического типа б) параболического типа в) гиперболического типа 4.Краевая задача а) эллиптического типа б) параболического типа в) гиперболического типа</p>

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

#### **КМ-4. Решение дифференциальных уравнений методом конечных разностей**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент выполняет индивидуальное задание, необходимо решить предложенную задачу

**Краткое содержание задания:**

Выполнить задание

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: найти оптимальные параметры численной схемы	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Дать характеристику схемы Эйлера</li><li>2. Привести способ нахождения градиента давления в уравнении движения параболического типа</li><li>3. Дать характеристику разностной схемы Самарского</li><li>4. Дать характеристику разностной схемы «против потока»</li><li>5. Дать характеристику центральной разностной схемы</li><li>6. Провести аппроксимацию граничных условий для смешанной задачи с первым и вторым порядком точности консервативным и неконсервативным способом</li><li>7. Дать характеристику схемы решения краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка</li><li>8. Дать характеристику схемы решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка</li><li>9. Дать характеристику схемы Рунге-Кутты</li><li>10. Дать характеристику схемы предиктор-корректор</li></ol>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

МЭИ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____ 2 _____	Утверждено: Зав. кафедрой
	Кафедра _____ ТМПУ _____	
	Дисциплина _____ ММвТЭ _____	
	_____ ИЭВТ _____	
<p>1. Примеры уравнений в частных производных гиперболического типа. Модельное уравнение первого порядка. Понятие характеристики.</p> <p>2. Аппроксимация граничных условий двухточечным разностным уравнением с первым и вторым порядком.</p> <p>3. Задача №27 (23).</p>		

### Процедура проведения

Студент самостоятельно выбирает экзаменационный билет из предложенных ему экземпляров, содержание билета студент не видит. На подготовку студенту отводится 45 минут. Допускается досрочный ответ

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-2 Выполняет тепловые и гидравлические расчеты систем технологических систем, процессов и оборудования

### Вопросы, задания

1. Разностные методы решения уравнений эллиптического типа. Применение итераций
2. Метод аппроксимации «против потока». Сеточное число Рейнольдса. Устойчивость и монотонность прогонки
3. Примеры уравнений в частных производных гиперболического типа. Модельное уравнение первого порядка. Понятие характеристики
4. Аппроксимация граничных условий двухточечным разностным уравнением с первым и вторым порядком
5. Примеры уравнений эллиптического типа. Разностная аппроксимация модельного уравнения
6. Сопоставление схем: центрально-разностной, А.А. Самарского, «против потока».
7. Разностное решение задачи о теплопроводности охлаждаемого ребра. Разностные граничные условия
8. Уравнения в частных производных гиперболического типа. Понятие характеристики. Постановка граничных условий
9. Разностное решение задачи о течении жидкости в канале. Применение метода расщепления. Аппроксимация граничного условия на оси
10. Понятие консервативности схемы. Дивергентная форма записи исходного уравнения. Примеры консервативной и неконсервативной схем для уравнения теплопроводности

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Скорость сходимости метода бисекции:

Ответы:

- а) линейная
- б) сверлинейная
- в) квадратичная

Верный ответ: а

2. Метод прямоугольников является частным случаем методом Ньютона-Котеса

Ответы:

- а) нулевого порядка
- б) первого порядка
- в) второго порядка

Верный ответ: а

3. Метод трапеций является частным случаем методом Ньютона-Котеса

Ответы:

- а) нулевого порядка
- б) первого порядка
- в) второго порядка

Верный ответ: б

4. Метод Симпсона является частным случаем методом Ньютона-Котеса

Ответы:

- а) нулевого порядка
- б) первого порядка
- в) второго порядка

Верный ответ: а

5. Уравнение движения

Ответы:

а).

$$u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dx} + v \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

б).

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0;$$

Верный ответ: а

6. Перечислите методы решения нелинейных уравнений

Ответы:

Студент самостоятельно приводит известные ему методы решения нелинейных уравнений.

Верный ответ: Метод бисекции (половинного деления) Метод итераций (метод Ньютона (метод касательных, метод хорд (секущих))

7. Метод Якоби - это

Ответы:

- а). метод смещенных итераций
- б). метод простых итераций
- в) метод итераций

Верный ответ: б

8.Тождественна ли математическая модель объекту?

Ответы:

- а). Да, математическая модель тождественна рассматриваемому объекту и передает все его свойства и особенности
- б). Нет, математическая модель никогда не бывает тождественна рассматриваемому объекту и не передает всех его свойств и особенностей. Она является лишь приближенным описанием объекта и носит всегда приближенный характер
- в). Модель может быть тождественно, т.к. точность соответствия определяется степенью соответствия адекватности модели и объекта

Верный ответ: б

9.Классический метод Рунге — Кутты имеет

Ответы:

- а). первый порядок
- б). второй порядок
- в). третий порядок
- г). четвертый порядок

Верный ответ: г

10.Как иначе называют метод Ньютона?

Ответы:

- а) Метод касательных
- б) Метод коллокации
- в) Метод прогонки
- г) Метод итераций

Верный ответ: а

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня*

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**