

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Автономные энергетические системы. Водородная и электрохимическая энергетика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Математическое моделирование**

**Москва
2022**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Елисеев А.Г.
	Идентификатор	R1d31b868-YeliseevAG-013824c4

(подпись)

А.Г. Елисеев

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ланская И.И.
	Идентификатор	R3db6324d-Lanskyall-6f410db9

(подпись)

И.И. Ланская

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кулешов Н.В.
	Идентификатор	Re9c42de9-KuleshovNV-bc390ed6

(подпись)

Н.В.

Кулешов

(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-3 Способен к обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации и разработке мероприятий по совершенствованию технологии производства автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов

ИД-3 Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Консервативные разностные схемы (Контрольная работа)
2. Схемы с не дивергентным уравнением энергии, условия полной консервативности (Контрольная работа)
3. Сходимость и устойчивость разностных схем. Основная теорема о сходимости разностных схем (Контрольная работа)
4. Численное дифференцирование (Контрольная работа)

БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
Численное дифференцирование. Неустойчивость численного дифференцирования.					
Численное дифференцирование. Неустойчивость численного дифференцирования.		+			
Сходимость и устойчивость разностных схем. Основная теорема о сходимости разностных схем					
Сходимость и устойчивость разностных схем. Основная теорема о сходимости разностных схем			+		
Консервативные разностные схемы.					
Консервативные разностные схемы.				+	
Схемы с не дивергентным уравнением энергии. Условия полной консервативности, устойчивости. Дробное					

дифференцирование. Решение задачи Бернулли и задачи Абеля				
Схемы с не дивергентным уравнением энергии. Условия полной консервативности, устойчивости. Дробное дифференцирование. Решение задачи Бернулли и задачи Абеля				+
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-3	ИД-ЗПК-3 Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов	Знать: основные понятия современных численных методов, использующихся для разработки и эксплуатации автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов современные методы построения математических моделей для задач, возникающих на практике и численные методы их решения с применением интегрированных пакетов программ: MATHCAD, MATLAB. Уметь: применять свои знания современных численных методов к решению практических задач по	Численное дифференцирование (Контрольная работа) Сходимость и устойчивость разностных схем. Основная теорема о сходимости разностных схем (Контрольная работа) Консервативные разностные схемы (Контрольная работа) Схемы с не дивергентным уравнением энергии, условия полной консервативности (Контрольная работа)

		разработке, модернизации, правильной эксплуатации оборудования электрохимических энергоустановок и в водородной энергетике грамотно и профессионально строить математические модели основных процессов автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов, рассчитывать бесперебойные режимы работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического оборудования предприятий энергетического профиля	
--	--	--	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Численное дифференцирование

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области численного дифференцирования

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные понятия современных численных методов, использующихся для разработки и эксплуатации автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов	1. Производная вперед, назад. Порядок аппроксимации. 2. Центральная производная. Порядок аппроксимации. 3. Вторая производная. Порядок аппроксимации. 4. Формула оптимального шага для разностной производной вперед. 5. Формула оптимального шага для разностной центральной производной. 6. Формула оптимального шага для разностной второй производной. 7. Метод сокращающихся знаков для определения оптимального шага. 8. Примеры для определения оптимального шага: $\ln(1+x)$, $x_0 = 0$. 9. Примеры для определения оптимального шага: $\lg(x)$, $x_0 = 0$. 10. Примеры для определения оптимального шага: $\sin(x)$, $x_0 = 0$.
---	--

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. Сходимость и устойчивость разностных схем. Основная теорема о сходимости разностных схем

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области сходимости и устойчивости разностных схем.

Контрольные вопросы/задания:

Знать: современные методы построения математических моделей для задач, возникающих на практике и численные методы их решения с применением интегрированных пакетов программ: MATHCAD, MATLAB.	1.Разностная схема дифференциального уравнения. Порядок аппроксимации разностной схемы. 2. Устойчивость разностной схемы. 3. Теорема о сходимости решения разностной схемы к точному решению дифференциального уравнения. 4. Спектральный признак Неймана устойчивости разностной схемы. 5. Признак Куранта. устойчивости разностной схемы. 6. Понятие шаблона при построении разностной схемы. 7. Абсолютно и условно устойчивые разностные схемы. 8. Построить устойчивую разностную схему для уравнения распространения звуковых волн. 9. Абсолютно устойчивая разностная схема для уравнения теплопроводности. 10. Устойчивость прогонки для решения трехточечной разностной схемы.
---	---

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. Консервативные разностные схемы

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области консервативных разностных схем

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: грамотно и профессионально строить математические модели основных процессов автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов, рассчитывать бесперебойные режимы работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического оборудования предприятий энергетического профиля	1. Понятие консервативности разностной схемы. 2. Пример не консервативной разностной схемы для уравнения 1 го порядка. 3. Интегро-интерполяционный метод для построения консервативной разностной схемы. 4. Пример Самарского построения консервативной разностной схемы для дифференциального уравнения 2 го порядка. 5. Построение консервативной разностной схемы для дифференциального уравнения теплопроводности. 6. Аппроксимация коэффициента теплопроводности при построении консервативной разностной схемы. 7. Консервативная разностная схема для задачи о тепловом взрыве. 8. Метод простой итерации при решении нелинейных задач. 9. Метод Ньютона при решении нелинейных задач. 10. Модифицированный метод Ньютона при решении нелинейных задач.
---	--

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. Схемы с не дивергентным уравнением энергии, условия полной консервативности

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется по вариантам билетов на практическом занятии

Краткое содержание задания:

Работа ориентирована на проверку знаний в области уравнений энергии

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять свои знания современных численных методов к решению практических задач по разработке, модернизации, правильной эксплуатации оборудования электрохимических энергоустановок и в водородной энергетике	1. Полностью консервативная разностная схема. 2. Построение полностью консервативной разностной схемы для гиперболической системы 2 го порядка для малых возмущений среды. 3. Построение полностью консервативной разностной схемы для уравнений с дивергентным уравнением энергии. 4. Построение полностью консервативной разностной схемы для уравнений с не дивергентным уравнением энергии первого порядка аппроксимации. 5. Построение полностью консервативной разностной схемы для уравнений с не дивергентным уравнением энергии первого порядка аппроксимации. 6. Разностная схема для 2 мерного уравнения теплопроводности. Анализ устойчивости. 7. Метод дробных шагов при построении разностной схемы для 2 мерного уравнения теплопроводности. Анализ устойчивости, консервативности. 8. Уравнение брахистохроны. Численное ее решение 9. Уравнение Абеля для нахождения таутохроны. 10. Дробная производная. Численное решение уравнения Абеля.
--	--

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

1 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

1. Итерационный процесс.
2. Устойчивость двумерной разностной схемы для уравнения теплопроводности.

Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-ЗПК-3 Выполняет сбор, обработку, анализ и обобществление отечественного и международного опыта в области исследований и разработки автономных энергетических систем, установок водородной, электрохимической энергетики и их элементов

Вопросы, задания

1. Устойчивость разностной схемы для решения задачи переноса
2. Итерационный процесс.
3. Скорость сходимости
4. Геометрическая интерпретация
5. Основные причины модификации метода Ньютона
6. В чем состоит модификация метода Ньютона
7. Метод нормировки и его смысл
8. Устойчивость прогонки
9. Устойчивость двумерной разностной схемы для уравнения теплопроводности.
10. Метод дробных шагов.
11. Метод бегущей волны для решения неявной разностной схемы.
12. Консервативные разностные схемы
13. Построение консервативной разностной схемы для уравнения теплопроводности
14. Причины ошибок при решении задачи теплопроводности по неконсервативной разностной схеме.
15. Интегро-интерполяционный метод построения консервативных разностных схем
16. Аппроксимация коэффициента теплопроводности (диффузии)
17. Решение задачи о бегущей тепловой волне
18. Итерационный процесс
19. Схема метода прогонки.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. По какой формуле можно вычислить абсолютную погрешность функции $f(x) = \sqrt{x}$ при известной погрешности аргумента Δx ?
Ответы:

1. $\Delta f \approx (1/2) \cdot \Delta x$

2. $\Delta f \approx \text{модуль}(1/(2 \cdot \sqrt{x})) \cdot \Delta x$

3. $\Delta f \approx \text{модуль(квадратный корень}(\Delta x))$

4. $\Delta f \approx \text{модуль(квадратный корень}(x)) * \Delta x$

Верный ответ: 2

2. Какой из следующих итерационных процессов имеет наибольшую скорость сходимости?

Ответы:

1. 1) $x(i+1) = 1/4x(i) + 2$

2) $x(i+1) = 1/3x(i) + 14$

3) $x(i+1) = 1/2x(i) + 1$

4) $x(i+1) = 3x(i) + 2$

Верный ответ: 1

3. Для приближенного вычисления определенных интегралов выбрана формула второго порядка точности с шагом $h = 0.01$. Как изменится погрешность расчета при уменьшении шага в 2 раза?

Ответы:

1. 1) Станет равна 0.01^2

2) Уменьшится в 2 раза

3) Уменьшится в 4 раза

4) Станет равна 0.005^2

Верный ответ: 3

4. С помощью какой итерационной формулы можно найти корень уравнения $x - x^3 + 4 = 0$?

Ответы:

1. 1) $x(i+1) = x(i) + (x(i) - x(i)^3 + 4) / (1 - 3x(i)^2)$

2) $x(i+1) = x(i) - (1 - 3x(i)^2) / (x(i) - x(i)^3 + 4)$

3) $x(i+1) = x(i) + (1 - 3x(i)^2) / (x(i) - x(i)^3 + 4)$

4) $x(i+1) = x(i) - (x(i) - x(i)^3 + 4) / (1 - 3x(i)^2)$

Верный ответ: 4

5. Пусть для точного значения вектора $x = (5 \ 3)^T$ получено приближенное значение $x^* = (4.8 \ 3.1)^T$. Чему равна погрешность $x - x^*$ в бесконечной норме?

Ответы:

1. 1) 0.1

2. 2) 0.2

3. 3) 0.3

4. 4) 0.4

Верный ответ: 2

6. Будет ли сходиться итерационный процесс $x(k+1) = B \cdot x(k) + c$ с матрицей $B = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.3 \\ 0.7 & 0.2 \end{pmatrix}$ и вектором $c = (0.3 \ 0.8)^T$?

Ответы:

1. 1) Да, т.к. бесконечная норма $B < 1$

2) Нет, т.к. первая норма $B \nless 1$

3) Да, т.к. бесконечная норма $c < 1$

4) Нет, т.к. первая норма $c \nless 1$

Верный ответ: 1

7. Какой из многочленов интерполирует функцию, заданную таблицей $(x, y) = (0, 2), (2, 0)$?

Ответы:

1. 1) $P(x) = 2x$

2) $P(x) = 2 - x$

3) $P(x) = 2 - 2x$

4) $P(x) = 2 + x$

Верный ответ: 2

8. Какое количество точек (значений функции) необходимо использовать для построения интерполяционного многочлена степени N ?

Ответы:

1. 1) Ровно N

2) Любое меньшее N

3) Ровно $N+1$

4) Любое большее $N+1$

Верный ответ: 3

9. Функция, заданная таблицей значений, аппроксимируется по методу наименьших квадратов многочленом $\Phi(x) = a + bx$. Какую систему нужно решить для поиска коэффициентов этого многочлена?

Ответы:

1. 1) $(n+1)a + \sum_{i=0, n} (x_i) b = \sum_{i=0, n} (y_i)$

2. $\sum_{i=0, n} (x_i) a + (\sum_{i=0, n} (x_i))^2 b = \sum_{i=0, n} (x_i * y_i)$

2. $(n+1)b + \sum_{i=0, n} (x_i) a = \sum_{i=0, n} (y_i)$
 $\sum_{i=0, n} (x_i) b + \sum_{i=0, n} (x_i)^2 a = \sum_{i=0, n} (x_i * y_i)$

3. $(n+1)a + \sum_{i=0, n} (x_i) b = \sum_{i=0, n} (y_i)$
 $\sum_{i=0, n} (x_i) a + \sum_{i=0, n} (x_i)^2 b = \sum_{i=0, n} (x_i * y_i)$

4. $(n+1)a + \sum_{i=0, n} (x_i) b = \sum_{i=0, n} (x_i * y_i)$

$$\sum_{i=0,n}(x_i) a + \sum_{i=0,n}(x_i)^2 b = \sum_{i=0,n}(y_i)$$

Верный ответ: 3

10. По какой из следующих формул можно вычислить приближенное значение производной?

Ответы:

1. 1) $(f(x)-f(x-2h)) / h$
- 2) $(f(x)-f(x-3h)) / (2h)$
- 3) $(f(x)-f(x-3h)) / h$
- 4) $(f(x)-f(x-2h)) / (2h)$

Верный ответ: 4

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

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.