

**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: Теплотехника и малая распределенная энергетика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Численное моделирование термогидродинамических процессов в
энергетическом оборудовании**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сиденков Д.В.
	Идентификатор	R7ad01b54-SidenkovDV-41309924

Д.В.
Сиденков

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В.
Шацких

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В.
Шацких

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-1 Способен к проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности
ИД-2 Имеет навыки математического моделирования теплогидравлических процессов в объектах профессиональной деятельности
2. РПК-1 Способен применять информационные технологии для проведения исследований в профессиональной деятельности
ИД-1 Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности
ИД-2 Проводит исследования с использованием информационных технологий

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование)

БРС дисциплины

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- | | |
|------|---|
| КМ-1 | Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование) |
| КМ-2 | Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа) |
| КМ-3 | Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа) |
| КМ-4 | Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа) |

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	15
ЧМТГДП					
Введение. Процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок.	+				
Система интегральных и дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.	+				
Стационарная теплопроводность.			+		
Нестационарная теплопроводность.			+		+
Система уравнений Навье-Стокса.				+	
Особенности решения задач вынужденной и свободной конвекции.				+	
Верификация ANSYS, набор тестовых задач.				+	
Численное моделирование теплообменного аппарата					+
Вес КМ:		15	25	30	30

БРС курсовой работы/проекта

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

КМ-1 Оценка выполнения раздела КР «Обзор литературы»

КМ-2 Оценка выполнения раздела КР «Тепловизионное и экспериментальное исследование»

КМ-3 Соблюдение графика выполнения КР: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи»

КМ-4 Качество оформления КР: «Численное моделирование теплообменного аппарата»

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Обзор литературы, изучение экспериментальных стендов, подготовка их к работе, формирование навыков работы с тепловизором, формирование соответствующих разделов КР	+				
Проведение экспериментальных исследований, проведение вычислительного эксперимента с помощью программы ANSYS, формирование соответствующих разделов КР			+	+	
Обработка результатов натурного и вычислительного эксперимента, формирование соответствующих разделов КР, подготовка презентации к защите КР				+	+
Вес КМ:		20	30	40	10

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-1	ИД-2ПК-1 Имеет навыки математического моделирования теплогидравлических процессов в объектах профессиональной деятельности	Знать: численные методы расчета вариантов разработки и построения адекватных математических моделей на основе вычислительного эксперимента при проектировании теплоэнергетических объектов с учётом особенностей протекающих в них физических процессов; принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта; Уметь: разрабатывать математические модели простейших элементов теплоэнергетических объектов; записывать в виде системы интегральных и	КМ-1 Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование) КМ-2 Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа) КМ-3 Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа) КМ-4 Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

		дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок; формулировать цели и задачи исследования термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки;	
РПК-1	ИД-1 _{РПК-1} Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности	Знать: особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;	КМ-1 Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование)
РПК-1	ИД-2 _{РПК-1} Проводит исследования с использованием информационных технологий	Уметь: применять пакет ANSYS для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач	КМ-3 Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа)

		теплообмена и гидродинамики;	
--	--	---------------------------------	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Терминологический тест: «Метод контрольного объема»

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Ответы письменно на вопросы теста.

Краткое содержание задания:

- 1 Метод контрольного объема
- 2 Дискретный аналог
- 3 ДУ нестационарной теплопроводности
- 4 ГУ 3-го рода
- 5 ДУ энергии
- 6 Дискретный аналог ДУ энергии
- 7 Уравнение конвективной теплоотдачи
- 8 Трехточечный шаблон
- 9 Суть метода прогонки
- 10 Применение ГУ в методе прогонки

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;	1.1 Метод контрольного объема 2 Дискретный аналог 3 ДУ нестационарной теплопроводности 4 ГУ 3-го рода 5 ДУ энергии 6 Уравнение конвективной теплоотдачи
Уметь: записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;	1.1 ДУ энергии 2 Дискретный аналог ДУ энергии 3 Трехточечный шаблон 4 Суть метода прогонки 5 Применение ГУ в методе прогонки

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности»

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение вариантов задания из двух задач по изучаемой теме на компьютере в MathCad и в Ansys.

Краткое содержание задания:

1.46. Температура на поверхности охлаждаемого цилиндрического уранового стержня [$\lambda = 30 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$] не должна превышать 650°C . Определить допустимый диаметр и перепад температур в стержне при мощности внутренних источников $q_v = 8 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^3$, если температура охлаждающего теплоносителя $t_{\text{ж}} = 370^\circ\text{C}$, а коэффициент теплоотдачи $\alpha = 6500 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Указание : Решить в MathCad и в Ansys

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта;	1.1 Дифференциальное уравнение составляющее математическое описание этой задачи 2 Какие граничные условия заданы
Уметь: разрабатывать математические модели простейших элементов теплоэнергетических объектов;	1.1 Построить в Ansys этот трехмерный объект 2 Задать внутренний источник в 2 раза большей мощности, сравнить результаты численного решения в MathCad и в Ansys

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи»

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение вариантов задания из двух задач по изучаемой теме на компьютере в MathCad и в Ansys.

Краткое содержание задания:

С помощью программы Ansys решить задачу Пуазейля течения в плоском канале с обогреваемой стенкой, построить профиль скорости, температуры, давления.
Определить средний коэффициент теплоотдачи и коэффициент гидравлического сопротивления

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: численные методы расчета вариантов разработки и построения адекватных математических моделей на основе вычислительного эксперимента при проектировании теплоэнергетических объектов с учётом особенностей протекающих в них физических процессов;	1.1 Что такое начальный термический участок 2 Где находится максимум скорости в профиле скорости задачи Пуазейля 3 Что такое тепловой пограничный слой
Уметь: применять пакет ANSYS для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	1.1 Как задать граничные условия на стенке в Ansys для рассматриваемой задачи 2 Как сделать режим течения в этой задаче ламинарным при моделировании в Ansys

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата»

Формы реализации: Компьютерное задание

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение вариантов задания из одной задачи по изучаемой теме на компьютере в MathCad и в Ansys.

Краткое содержание задания:

Создать в Ansys теплообменник типа “труба в трубе” заданной геометрии. Задать теплофизические свойства и граничные условия на входе по каждого теплоносителя, протекающего во внутренней трубе и в кольцевом канале. Рассчитать с помощью Ansys изменение полей скорости, температуры и давления каждого теплоносителя. Определить средние коэффициенты теплоотдачи, рассчитать коэффициент теплопередачи и теплопроизводительность теплообменного аппарата, а также гидродинамическое сопротивление по каждому теплоносителю.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: формулировать цели и задачи исследования термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки;	1.1 Расчет среднего коэффициента теплоотдачи в Ansys 2 Расчет сопротивления трения в Ansys 3 Сравнение потерь давления за счет трения с формулой Дарси-Вейсбаха

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1.	Нестационарное одномерное уравнение теплопроводности в декартовой системе координат. Дискретизация по явной схеме и метод решения. Условие на шаг по времени.
3.	Бетонная плита с размерами $3 \times 5 \times 0,3$ м и начальной температурой 90°C в вертикальном положении охлаждается на открытом воздухе ($t_{\text{ж}} = -10^\circ\text{C}$). Определить температуру в средней плоскости плиты и на ее поверхности через 3,3 ч после начала охлаждения, если значения коэффициентов теплопроводности, теплоемкости и плотность для бетона составляют $1,28 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, $0,84 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$ и 2000 кг/м^3 соответственно. Коэффициент теплоотдачи с поверхности к воздуху принять равным $15 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$. построить график распределения температуры по толщине плиты. <u>Указание:</u> Решение в Ansys

Процедура проведения

Очно по билетам устно

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-1 Имеет навыки математического моделирования теплогидравлических процессов в объектах профессиональной деятельности

Вопросы, задания

1.	Стационарное одномерное уравнение теплопроводности в декартовой системе координат. Построение дискретного аналога и метод решения.
3.	Построить дискретный аналог дифференциального уравнения
1.	$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + 1$
1.	Сущность метода контрольного объема. Дискретизация стационарного одномерного уравнения теплопроводности. Основные правила построения дискретных аналогов.
3.	Стальная заготовка [$\lambda = 37 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, $a = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$] в форме параллелепипеда $600 \times 420 \times 360$ мм с начальной температурой $t_0 = 15^\circ\text{C}$ загружена в нагревательную печь с температурой $t_{\text{ж}} = 1500^\circ\text{C}$. Вычислить температуры в центре бруса и в центре каждой из его граней через 1,2 ч после начала нагрева при коэффициенте теплоотдачи $\alpha = 120 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$. построить соответственно их распределение по длинной оси бруса и по длинному его ребру. <u>Указание:</u> Решение в Ansys
2.	

- | | |
|----|--|
| 1. | Метод прогонки. Алгоритм решения стационарного одномерного уравнения теплопроводности методом прогонки и заданных граничных условиях 1-го рода. |
| 3. | <p>Вычислить температуры на оси и поверхности бетонного столба уличного освещения [$d = 300$ мм, $\lambda = 1,28$ Вт/(м·К), $c_p = 0,84$ кДж/(кг·К), $\rho = 2000$ кг/м³] через 2,5 ч после резкого понижения температуры воздуха от 0 °С (удерживалась несколько суток) до -20 °С. Коэффициент теплоотдачи с поверхности столба принять равным 20,5 Вт/(м²·К).</p> <p>построить график распределения температуры по радиусу столба.</p> <p><u>Указание:</u> Решение в Ansys</p> |

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Метод контрольного объема

Ответы:

из лекционного материала и материала практических занятий и из литературы

Верный ответ: из лекционного материала и материала практических занятий

2. Дискретный аналог

3. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности

4. Дифференциальное уравнение энергии

5. Уравнение конвективной теплоотдачи

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{РПК-1} Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности

Вопросы, задания

- | | |
|----|--|
| 1. | Сущность метода контрольного объема. Дискретизация стационарного двумерного уравнения теплопроводности, записанного в координатах $r-\theta$. Основные правила построения дискретных аналогов |
| 3. | <p>Решить численно одномерную нестационарную задачу теплопроводности в плоской пластине с помощью метода прогонки (толщина пластины 300 мм, материал – бетон), при заданных постоянных температурах на левой и правой стенке пластины, 120 °С и 30 °С соответственно, распределением температуры в начальный момент времени на уровне 30 °С и временем нагрева 10800 сек.</p> <p>Расчет изменения температуры по толщине выполнить с помощью пакета ANSYS.</p> |

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Граничные условия 3-го рода

2. Дискретный аналог дифференциального уравнения энергии

3. Суть метода прогонки

3. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{РПК-1} Проводит исследования с использованием информационных технологий

Вопросы, задания

- | | |
|----|--|
| 1. | Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена (система уравнений Навье-Стокса). Обобщенное дифференциальное уравнение. |
| 3. | <p>Решить численно одномерную нестационарную задачу теплопроводности в плоской пластине с помощью метода прогонки (толщина пластины 100 мм, материал – сталь), при заданных постоянных температурах на левой и правой стенке пластины, 100 °С и 20 °С соответственно, распределением температуры в начальный момент времени на уровне 20 °С и временем нагрева 120 сек.</p> <p>Расчет изменения температуры по толщине выполнить с помощью пакета ANSYS.</p> |

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.Метод SIMPLE
- 2.Трехточечный шаблон

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

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

Для курсового проекта/работы:

2 семестр

Форма проведения: Защита КП/КР

I. Процедура защиты КП/КР

Презентация работы в виде публичного доклада, устный опрос/обсуждение

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка за курсовой работу определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».