

**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
2022**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

Д.В.

Сиденков

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

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

(подпись)

Ю.В.

Шацких

(расшифровка
подписи)

Заведующий
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Орлов К.А.
	Идентификатор	R24178de8-OrlovKA-0ab64072

(подпись)

К.А. Орлов

(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-1 Способен к проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности

ИД-2 Имеет навыки математического моделирования теплогидравлических процессов в объектах профессиональной деятельности

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

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

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

БРС курсовой работы/проекта

2 семестр

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: особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок; принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта; 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; Уметь:	Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование) Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа) Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно-диффузионной задачи» (Контрольная работа) Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

		<p>формулировать цели и задачи исследования термогидродинамических процессов в энергетическом оборудовании, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки;</p> <p>записывать в виде системы интегральных и дифференциальных уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок;</p> <p>разрабатывать математические модели простейших элементов теплоэнергетических объектов;</p> <p>применять пакет ANSYS для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;</p>	
--	--	--	--

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:

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

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. 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 $650 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 $t_{\text{ж}} = 370 \text{ }^\circ\text{C}$, а коэффициент теплоотдачи $\alpha = 6500 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

Указание : Решить в MathCad и в Ansys

Контрольные вопросы/задания:

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

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. 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:

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

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. 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:

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

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

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.	<p>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 $15 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.</p> <p>построить график распределения температуры по толщине плиты.</p> <p><u>Указание:</u> Решение в Ansys</p>

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

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + 1$$

1.

1. Дифференциальные уравнения (система уравнений Навье-Стокса) уравнение.

3. Решить численно уравнение теплопроводности в пластине (толщина пластины 10 мм) с постоянными температурами 100 °С и 20 °С соответственно на начальном моменте времени t = 0 сек.
Расчет изменения температуры с помощью пакета ANSYS.

1. Метод прогонки. Алгоритм решения уравнения теплопроводности в граничных условиях 1-

3. Вычислить коэффициент теплопроводности столба уличного освещения $\lambda = 0,84 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$, зависимость температуры воздуха от высоты $t_{\text{возд}} = -20 \text{ }^\circ\text{С}$. Коэффициент конвекции $\alpha = 20,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Построить график распределения температуры в столбе.

Указание: Решение в Ansys

1. Сущность метода
стационарного одно
Основные правила пост

3. Стальная за
форме параллелепипе
 $t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ загружена
 $= 1500 \text{ }^\circ\text{C}$. Вычислит
дой из его граней чер
енте теплоотдачи $\alpha =$
соответственно их ра
ному его ребру.

1.	<p>Сущность метода стационарного двумерного записанного в координатах дискретных аналогов</p>
3.	<p>Решить численно теплопроводности в пластине (толщина пластины 3 мм) постоянных температурах 0°C и 30°C соответственно. Начальный момент времени 10800 сек.</p> <p>Расчет изменения температуры с помощью пакета ANSYS.</p>

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

Ответы:

из лекционного материала и материала практических занятий и из литературы

Верный ответ: из лекционного материала и материала практических занятий

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

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

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