

**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: Цифровизация в тепловой и возобновляемой энергетике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
CFD-моделирование**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Коновалов Д.А.
	Идентификатор	R613c02d5-KonovarovDmA-e2ae743

Д.А.
Коновалов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Очков В.Ф.
	Идентификатор	Rd91184b2-OchkovVF-1531e2ff

В.Ф. Очков

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-4 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в тепловой и возобновляемой энергетике

ИД-2 Применяет методы моделирования объектов тепловой и возобновляемой энергетики для решения профессиональных задач

ИД-5 Применяет в профессиональной деятельности современные методы и средства визуализации данных

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

8 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 – Зачет с оценкой.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4

	Срок КМ:	4	8	12	15
CFD-моделирование					
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 Логос (резерв - ANSYS), набор тестовых задач.		+	+	+	+
Численное моделирование теплообменного аппарата					+
	Вес КМ:	15	25	30	30

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-4	ИД-2ПК-4 Применяет методы моделирования объектов тепловой и возобновляемой энергетики для решения профессиональных задач	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; особенности моделирования процессов теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок; Уметь: записывать в виде системы интегральных и дифференциальных	КМ-1 Терминологический тест: «Метод контрольного объема» (Тестирование) КМ-2 Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа) КМ-4 Контрольная работа №3: «Численное моделирование теплообменного аппарата» (Контрольная работа)

		уравнений процессы теплообмена и гидродинамики в элементах теплоэнергетических установок; применять пакет Логос (резервный пакет ANSYS) для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	
ПК-4	ИД-5ПК-4 Применяет в профессиональной деятельности современные методы и средства визуализации данных	Знать: принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта; Уметь: применять пакет Логос (резервный пакет ANSYS) для визуализации результатов решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	КМ-2 Контрольная работа №1: «Численное решение задачи теплопроводности» (Контрольная работа) КМ-3 Контрольная работа №2: «Численное решение конвективно- диффузионной задачи» (Контрольная работа)

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 Smath (резерв - MathCad) и в Логос (резерв - 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 SMath (резерв - MathCad) и в Логос (резерв - Ansys)

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 Дифференциальное уравнение составляющее математическое описание этой задачи 2 Какие граничные условия заданы
Уметь: применять пакет Логос (резервный пакет ANSYS) для визуализации результатов решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	1.1 Построить в Логос (резерв - Ansys) этот трехмерный объект 2 Задать внутренний источник в 2 раза большей мощности, сравнить результаты численного решения в SMath (резерв - MathCad) и в Логос (резерв - 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 SMath (резерв - MathCad) и в Логос (резерв - Ansys).

Краткое содержание задания:

С помощью программы Логос (резерв - 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: принципы декомпозиции теплоэнергетического объекта;	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 Логос (резервный пакет ANSYS) для визуализации результатов решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	1.1 Как задать граничные условия на стенке в Логос (резерв - Ansys) для рассматриваемой задачи 2 Как сделать режим течения в этой задаче ламинарным при моделировании в Логос (резерв - 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 SMath (резерв - MathCad) и в Логос (резерв - Ansys).

Краткое содержание задания:

Создать в Логос (резерв - Ansys) теплообменник типа “труба в трубе” заданной геометрии. Задать теплофизические свойства и граничные условия на входе для каждого теплоносителя, протекающего во внутренней трубе и в кольцевом канале. Рассчитать с помощью Логос (резерв - 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: применять пакет Логос (резервный пакет ANSYS) для решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции, сложных задач теплообмена и гидродинамики;	1.1 Расчет среднего коэффициента теплоотдачи в Логос (резерв - Ansys) 2 Расчет сопротивления трения в Логос (резерв - 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

8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

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 на компьютерах

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-4 Применяет методы моделирования объектов тепловой и возобновляемой энергетики для решения профессиональных задач

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 конвективных (система уравнений Навье-Стокса). Обобщенное уравнение.

3. Решить численно одномерную нестационарную задачу теплопроводности в плоской пластине с помощью метода прогонки (толщина пластины 100 мм, материал – бетон), при заданных постоянных температурах на левой и правой стенке пластины 120 °С и 20 °С соответственно, распределение температуры в начальный момент времени на уровне 20 °С. Расчет изменения температуры по толщине пластины выполнить с помощью пакета ANSYS.

- | | |
|----|--|
| 1. | Сущность метода контрольного объема. Дискретизация стационарного двумерного уравнения теплопроводности, записанного в координатах r-θ. Основные правила построения дискретных аналогов |
| 3. | 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. Расчет изменения температуры по толщине выполнить с помощью пакета ANSYS. |

Указание: Решение проводить с помощью Логос (резерв - Ansys)

Материалы для проверки остаточных знаний

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

Ответы:

из лекционного материала и материала практических занятий и из литературы

Верный ответ: из лекционного материала и материала практических занятий и из литературы

2. Компетенция/Индикатор: ИД-5ПК-4 Применяет в профессиональной деятельности современные методы и средства визуализации данных

Вопросы, задания

1.	Метод прогонки. Алгоритм решения стационарного одномерного уравнения теплопроводности методом прогонки и заданных граничных условиях 1-го рода.
3.	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). построить график распределения температуры по радиусу столба. <u>Указание:</u> Решение в Ansys
1.	Сущность метода контрольного об стационарного одномерного уравнении Основные правила построения дискретных а
3.	Стальная заготовка [$\lambda = 37$ Вт/(м·К) в форме параллелепипеда 600×420×360 мм с начальной температурой $t_0 = 15$ °С загружена в нагревательную печь с температурой $t_{\text{п}} = 1500$ °С. Вычислить температуры в центре каждой из его граней через 1,2 ч после начала нагревания. Коэффициент теплоотдачи $\alpha = 120$ Вт/(м²·К). соответственно их распределение по длинной стороне его ребру. <u>Указание:</u> Решение в Ansys

Материалы для проверки остаточных знаний

1.1 Порядок проведения вычислений в пакете Логос (резерв Ansys)

- 2 Препроцессор. Построение расчетной области, отображение расчетной области на дисплее.
- 3 Процессор. Задание начальных и граничных условий, работа с графическими примитивами
- 4 Постпроцессор. Визуализация полей температуры, скорости, давления
- 5 Постпроцессор. Визуализация полей векторных величин
- 6 Постпроцессор. Обработка результатов расчета. Получение расчетных величин теплоотдачи и сопротивления
- 7 Постпроцессор. Построение графиков изменения рассчитанных величин. Сохранение результатов

Ответы:

из лекционного материала и материала практических занятий и из литературы

Верный ответ: из лекционного материала и материала практических занятий и из литературы

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: «зачтено»

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена верно или с несущественными недостатками

Оценка: «не зачтено»

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

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

По совокупности оценок в БАРС и на зачете.