

**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: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Моделирование процессов тепломассообмена**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киндра В.О.
	Идентификатор	R429f7b35-KindraVO-2c9422f7

(подпись)

В.О. Киндра

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B

(подпись)

А.Н. Рогалев

(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 участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники

ИД-1 Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-1 (Контрольная работа)
2. КМ-2 (Контрольная работа)
3. КМ-3 (Контрольная работа)
4. КМ-4 (Контрольная работа)

### БРС дисциплины

6 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Теоретические основы моделирования процессов теплообмена в энергетических установках					
Теоретические основы моделирования процессов теплопроводности		+	+		
Теоретические основы моделирования процессов конвекции		+	+		
Теоретические основы моделирования лучистого теплообмена		+	+		
Численное моделирование процессов теплообмена в энергетических установках					
Численное моделирование процессов теплопроводности			+	+	+
Численное моделирование процессов конвекции			+	+	+
Численное моделирование процессов лучистого теплообмена			+	+	+
	Вес КМ:	20	20	30	30

§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-1	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования	<p>Знать:</p> <p>методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках</p> <p>методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках</p> <p>Уметь:</p> <p>использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов теплообмена в энергетических установках</p> <p>применять методы численного моделирования процессов теплообмена при</p>	<p>КМ-1 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-2 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-3 (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 (Контрольная работа)</p>

		проектировании энергетических установок	
--	--	--	--

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

### КМ-1. КМ-1

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Ориентирован на проверку знания по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Построить трехмерные модели стенок элементов энергетического оборудования, в которых протекают теплообменные процессы (трубы, поверхности нагрева, охлаждаемой лопатки турбины, жаровой трубы камеры сгорания)</li><li>2. Построить трехмерные модели потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования, в которых протекают теплообменные процессы</li><li>3. Построить сопряженные трехмерные модели стенок элементов энергетического оборудования и омывающего их потока</li></ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 75*

*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. КМ-2

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Ориентирован на проверку знания по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Построить объемную расчетную сетку стенок элементов энергетического оборудования</li> <li>2. Построить объемную неструктурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования</li> <li>3. Построить объемную структурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования</li> </ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 75*

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

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

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

**КМ-3. КМ-3**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Ориентирован на проверку умения по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов теплообмена в энергетических установках</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сформулировать постановку задачи протекающих в элементах энергетического оборудования теплообменных процессов: выбрать подход к моделированию (сопряженный, несопряженный), задать коэффициенты физических уравнений, а также граничные и начальные условия, определить подходы к расчету свойств материалов и теплоносителей) протекающих в элементах энергетического оборудования теплообменных процессов</li> <li>2. Задать настройки решателя и осуществить численное моделирование процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок</li> </ol>
---	--

	3.Осуществить численное моделирование процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-4. КМ-4**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студенты получают вариант контрольной работы. На выполнение контрольной работы отводится 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Ориентирован на проверку умения по соответствующему разделу дисциплины

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Разработать автоматизированный алгоритм обработки результатов численного моделирования процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок</li> <li>2.Рассчитать основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок при различных режимах работы</li> <li>3.Проанализировать влияние ключевых параметров на основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок</li> </ol>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 6 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

Билет №1

1. Что такое градиент температуры и куда он направлен?
2. Опишите методику расчета числа Нуссельта для охлаждаемого канала произвольной формы.
3. Разработать автоматизированный алгоритм обработки результатов численного моделирования процессов теплообмена в конструктивных элементах энергетических установок

### Процедура проведения

Зачет проводится в устной форме, включает теоретические вопросы и задание. К зачету допускаются студенты, успешно выполнившие и защитившие все контрольные мероприятия

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования

### Вопросы, задания

1. Что такое градиент температуры и куда он направлен?
2. Перечислите зависимости теплофизических свойств жидкости, которые необходимо задавать при создании собственного вещества в Ansys CFX для решения гидрогазодинамики и теплообмена?
3. Назовите основные методы численного решения дифференциальных уравнений в частных производных
4. Перечислите достоинства и недостатки метода конечных элементов по сравнению с прочими методами численного решения дифференциальных уравнений в частных производных
5. Опишите методику расчета числа Нуссельта для охлаждаемого канала произвольной формы
6. Какой параметр, указываемый в настройках решателя Ansys CFX, обычно не учитывается при моделировании процесса вынужденной конвекции, но обязательно задается при моделировании процесса естественной конвекции?
7. Перечислите основные виды теплообмена и поясните причины протекания теплообменных процессов
8. В чем отличия сопряженной и несопряженной постановок задачи теплообмена?
9. Назовите основные виды и особенности используемых при методе конечных разностей разностных схем
10. Опишите последовательность создания алгоритма обработки результатов расчетов с использованием Ansys CFD-Post на примере расчета коэффициента теплоотдачи в охлаждаемом канале
11. Сформулировать постановку задачи протекающих в элементах энергетического оборудования теплообменных процессов: выбрать подход к моделированию

(сопряженный, несопряженный), задать коэффициенты физических уравнений, а также граничные и начальные условия, определить подходы к расчету свойств материалов и теплоносителей) протекающих в элементах энергетического оборудования тепломассообменных процессов

12. Осуществить численное моделирование процессов тепломассообмена в конструктивных элементах энергетических установок

13. Осуществить численное моделирование процессов тепломассообмена в конструктивных элементах энергетических установок

14. Проанализировать влияние ключевых параметров на основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок

15. Построить объемную неструктурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Построить объемную неструктурированную расчетную сетку потока, омывающего стенки элементов энергетического оборудования

Ответы:

1. контакте частиц тела, обладающих энергией разного уровня
2. разной плотности элементов потока
3. действии внешних сил
4. формировании заряженными частицами, из которых состоит вещество, электромагнитных полей

Верный ответ: 1

2. Градиент температуры является вектором, который всегда направлен в сторону:

Ответы:

1. возрастания температуры
2. убывания температуры

Верный ответ: 1

3. Условия, выполняемые для нестационарного двухмерного температурного поля:

Ответы:

$$1. t = t(x, y), \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 ;$$

$$2. t = t(x, \tau), \frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0 ;$$

$$3. t = t(x, y, \tau), \frac{\partial t}{\partial z} = 0 ;$$

$$4. t = t(x, y, z), \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 .$$

Верный ответ: 3

4. Из закона Фурье следует, что интенсивность теплопроводности зависит от:

Ответы:

1. градиента температуры
2. разности температур на концах стержня к расстоянию между ними

3. площади поперечного сечения стержня

4. коэффициента теплопроводности

Верный ответ: 1, 2, 3, 4

5. Замена дифференциальных операторов в уравнении теплопроводности на их конечно разностные аналоги при неявной разностной схеме производится следующим образом:

Ответы:

$$1. \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_i^{n+1} - 2 \cdot T_{i+1}^n + T_{i-1}^{n+1}}{h^2};$$

$$2. \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2};$$

$$3. \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - T_i^n}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^n + T_i^{n+1}}{h^2};$$

$$4. \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{n+1} - T_i^{n-1}}{\tau}, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^{n+1} - 2 \cdot T_i^{n+1} + T_{i-1}^{n+1}}{h^2}.$$

Верный ответ: 2

6. Уравнение, устанавливающее связь между временным и пространственным изменением температуры  $T$  в любой точке цилиндрического стержня диаметром  $R$  при одномерной неоднородной (когда присутствуют источники и стоки теплоты) постановке и наличии теплообмена с окружающей средой, имеющей температуру  $T_0$ , имеет вид:

Ответы:

$$1. c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right);$$

$$2. c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{2 \cdot \alpha}{R} \cdot (T - T_0);$$

$$3. c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{2 \cdot \alpha}{R} \cdot (T - T_0) + Q_r(x, t);$$

$$4. c_p \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\lambda}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{2 \cdot \alpha}{R} \cdot (T - T_0) + Q_r(x, t).$$

Верный ответ: 3

7. Выполнение граничных условий 1го рода (задача Дирихле) для точки  $M$  на поверхности тела предполагают выполнение следующих условий:

Ответы:

$$1. \lambda \cdot \frac{\partial T(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n = q(M, t);$$

$$2. \lambda \cdot \frac{\partial T(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n = \alpha(T(M, t) - T_0);$$

$$3. \lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n = \lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2(M, t)}{\partial n} \cdot \vec{\Gamma}_n; T_1(M, t) = T_2(M, t);$$

$$4. T(M, t) = f(M, t).$$

Верный ответ: 4

8. Бесконечная пластина толщиной  $l = 10$  мм, выполненная из стали, имеющей теплопроводность  $\lambda = 50$  Вт/(м\*К), теплоемкость  $c_{ст} = 460$  Дж/(кг\*К), плотность  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup> и температура  $T_{ст} = 100^\circ\text{C}$  омывается потоком воздуха, имеющем теплопроводность  $\lambda_{возд} = 0,026$  Вт/(м\*К) и температуру  $T_{возд} = 20^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от воздуха к пластине равен  $100$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Определить значения коэффициента температуропроводности для пластины и числа Био. Решение расписать

Ответы:

1.  $Vi = 38,46; a = 7,25 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$
2.  $Vi = 0,02; a = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$
3.  $Vi = 38,46; a = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$

Верный ответ: 2

9.Какая форма радиальных охлаждающих каналов лопаток высокотемпературных газовых турбин используется при упрощенном подходе к моделированию с целью оптимизации теплогидравлических характеристик?

Ответы:

1. цилиндр
2. прямоугольный параллелепипед
3. квадратный параллелепипед

Верный ответ: 1

10.Какая форма охлаждающих каналов в области выходной кромки лопаток высокотемпературных газовых турбин используется при упрощенном подходе к моделированию с целью оптимизации теплогидравлических характеристик?

Ответы:

1. цилиндр
2. прямоугольный параллелепипед
3. квадратный параллелепипед

Верный ответ: 2

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*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: 75*

*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 зачетной составляющей