

**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: ЭТАЛОН: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Математическое моделирование процессов тепломассообмена**

**Москва  
2021**

## 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

7 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-1ПК-1 Выполняет моделирование физических и механических процессов в энергетическом оборудовании с применением систем автоматизированного проектирования	Знать: методы упрощения расчетных моделей, используемых при моделировании процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках методы численного моделирования процессов теплообмена, протекающих в энергетических установках Уметь: применять методы численного моделирования процессов теплообмена при проектировании энергетических установок использовать информационные технологии, применяемые для моделирования процессов	КМ-1 (Контрольная работа) КМ-2 (Контрольная работа) КМ-3 (Контрольная работа) КМ-4 (Контрольная работа)

		тепломассообмена в энергетических установках	
--	--	---	--

## 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

7 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 теплообменных процессов

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

13. Рассчитать основные теплогидравлические характеристики элементов энергетических установок при различных режимах работы

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. Причина протекания процесса теплопроводности заключается в:

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:

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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  $= 50$  Вт/(м\*К), теплоемкость  $c_{ст} = 460$  Дж/(кг\*К), плотность  $= 7800$  кг/м<sup>3</sup> и температура  $T_{ст} = 100$ °С омывается потоком воздуха, имеющем теплопроводность  $= 0,026$  Вт/(м\*К) и температуру  $T_{возд} = 20$ °С. 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.  $Bi = 38,46; a = 7,25 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$

2.  $Bi = 0,02; a = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$

3.  $Bi = 38,46; a = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$

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