

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Теплофизика**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Теплообмен излучением**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н.  
Герасимов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н.  
Герасимов

## 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 проводить расчеты теплофизических характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования

ИД-1 Владеет навыками расчета процессов гидродинамики и теплообмена в энергетическом оборудовании

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Определение угловых коэффициентов (Контрольная работа)
2. Теплообмен излучением в простейшей системе (Контрольная работа)
3. Теплообмен излучением в сложной системе (Расчетно-графическая работа)
4. Учет спектрального состава излучения (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

### 8 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Определение угловых коэффициентов (Контрольная работа)  
КМ-2 Теплообмен излучением в простейшей системе (Контрольная работа)  
КМ-3 Теплообмен излучением в сложной системе (Расчетно-графическая работа)  
КМ-4 Учет спектрального состава излучения (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	5	8	10	13
Основные законы теплообмена излучением					
Основные законы теплообмена излучением			+		
Угловые коэффициенты					
Угловые коэффициенты		+	+	+	

Теплообмен излучением в диатермической среде				
Теплообмен излучением в диатермической среде	+	+	+	
Излучательные свойства реальных тел				
Излучательные свойства реальных тел			+	+
Формула Планка				
Формула Планка			+	+
Перенос излучения в непрозрачных средах				
Перенос излучения в непрозрачных средах			+	+
Вес КМ:	20	20	40	20

## 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> Владеет навыками расчета процессов гидродинамики и теплообмена в энергетическом оборудовании	Знать: особенности переноса излучения в ограниченном спектральном диапазоне методы решения задач теплообмена излучением Уметь: рассчитывать радиационный теплообмен в произвольной системе рассчитывать угловые коэффициенты	КМ-1 Определение угловых коэффициентов (Контрольная работа) КМ-2 Теплообмен излучением в простейшей системе (Контрольная работа) КМ-3 Теплообмен излучением в сложной системе (Расчетно-графическая работа) КМ-4 Учет спектрального состава излучения (Контрольная работа)

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

### КМ-1. Определение угловых коэффициентов

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа.

**Краткое содержание задания:**

Определить УК в заданной системе.

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: рассчитывать радиационный теплообмен в произвольной системе	1.Выбор метода и поиск УК в конкретной системе.

**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. Теплообмен излучением в простейшей системе

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа.

**Краткое содержание задания:**

Найти температуру тела.

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
---	------------------------------

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: рассчитывать радиационный теплообмен в произвольной системе	1.Сформулировать условие теплового баланса; найти температуру тела.

**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. Теплообмен излучением в сложной системе**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Домашнее расчетное задание.

**Краткое содержание задания:**

Найти недостающие температуры и тепловые потоки в системе тел.

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: методы решения задач теплообмена излучением	1.Сформулировать условия применимости метода сальдо.
Знать: особенности переноса излучения в ограниченном спектральном диапазоне	1.Учет свойств поверхностей при расчете теплообмена излучением.
Уметь: рассчитывать угловые коэффициенты	1.Вычисление угловых коэффициентов в системе конечных размеров.

**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. Учет спектрального состава излучения**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа.

**Краткое содержание задания:**

На каком расстоянии можно увидеть объект, нагретый до температуры Т.

**Контрольные вопросы/задания:**

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: особенности переноса излучения в ограниченном спектральном диапазоне	1.Принятые допущения о механизме зрения.

**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: Экзамен

Пример билета

1. Общая форма закона Вина (без вывода). Формула Планка (вывод Эйнштейна).
2. Выведите формулу для углового коэффициента в системе двух параллельных соосных колец, если известно выражение для углового коэффициента в системе двух дисков.
3. До какой температуры должно нагреться Солнце (радиус $7 \times 10^5$ км), чтобы равновесная температура плоского диска на орбите Марса (230 млн. км от Солнца) стала равна температуре плавления алюминия ( $660^\circ\text{C}$ )?

## Процедура проведения

Письменный экзамен.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Владеет навыками расчета процессов гидродинамики и теплообмена в энергетическом оборудовании

### Вопросы, задания

- 1.1. Связь между давлением и внутренней энергией теплового излучения (без вывода). Термодинамические функции теплового излучения: внутренняя энергия, свободная энергия, энтропия. Уравнение состояния теплового излучения. Закон Стефана-Больцмана (термодинамический вывод). Реликтовое излучение.
2. Угловые коэффициенты (определение). Соотношение взаимности. Условие замыкаемости. Угловой коэффициент для двух элементарных площадок. Угловой коэффициент для элементарной площадки и тела конечных размеров. Угловой коэффициент для двух тел конечных размеров. Метод контурного интегрирования для вычисления угловых коэффициентов.
3. Теплообмен в замкнутой системе черных изотермических поверхностей. Теплообмен в замкнутой системе диффузных серых изотермических поверхностей (метод сальдо). Зональный метод исследования лучистого теплообмена.
4. Резольвентный метод исследования лучистого теплообмена.
5. Радиационные свойства поверхностей. Зависимость степени черноты от длины волны, температуры, направления излучения и состояния поверхности для металлов и диэлектриков. Излучательные и поглощательные свойства газов.
6. Пирометрия. Радиационная, яркостная и цветовая температуры.
7. Основные законы теплового излучения: Кирхгофа, Ламберта, Стефана-Больцмана, Планка, Рэлея–Джинса, Вина, закон смещения Вина, закон Бугера–Ламберта–Бэра.

8. Общая форма закона Вина. Закон Планка (без вывода). Формулы Стефана–Больцмана, Рэлея–Джинса, Вина и смещения Вина как следствие закона Планка.
9. Формула Планка (вывод Планка).
10. Общая форма закона Вина. Формула Планка (вывод Эйнштейна).
11. Элементарные процессы в непрозрачных средах. Спонтанное и вынужденное излучение. Интенсивность спонтанного излучения в состоянии ЛТР. Уравнение переноса энергии в излучающей и поглощающей среде: дифференциальная и интегральная (решение его в общем виде) форма.
12. Уравнение переноса энергии в излучающей и поглощающей среде. Решение в приближении холодной среды. Решение в приближении излучающей среды. Решение в приближении почти прозрачной среды.
13. Уравнение переноса энергии в излучающей и поглощающей среде. Решение в диффузионном приближении.
14. Уравнение переноса излучения в излучающей, поглощающей и рассеивающей среде. Индикатриса рассеяния. Перенос излучения в дисперсных средах.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Законы, следующие из формулы Планка:

Ответы:

- Вина
- Кирхгофа
- Рэлея-Джинса
- Стефана-Больцмана
- Бугера-Ламберта-Бэра
- (косинусов) Ламберта

Верный ответ: Вина, Рэлея-Джинса, Стефана-Больцмана

2. Пределы, в которых изменяется угловой коэффициент:

Ответы:

от 0 до 1

от 1 до бесконечности

от 0 до бесконечности

Верный ответ: от 0 до 1

3. Согласно закону Кирхгофа:

Ответы:

коэффициент излучения равен коэффициенту поглощения

коэффициент поглощения равен коэффициенту отражения

коэффициент излучения равен коэффициенту отражения

Верный ответ: коэффициент излучения равен коэффициенту поглощения

4. Спектральная интенсивность излучения имеет максимум в законе:

Ответы:

Планка

Вина

Рэлея-Джинса

Верный ответ: Планка и Вина

5. Закон Бугера может быть сформулирован в приближении:

Ответы:

холодной среды

горячей среды

прозрачной среды

Верный ответ: холодной среды

6. Метод сальдо приводит:

Ответы:

к системе уравнений

итоговой формуле для плотности потока излучения

Верный ответ: к системе уравнений

## ***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***

Итоговая оценка БАРС.