

**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

**Рабочая программа дисциплины**  
**РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.09</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>3 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 93,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Решение задач</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Тестирование</b> <b>Индивидуальный проект</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>3 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Костановский А.В.
	Идентификатор	Rb930396c-KostanovskyAV-5a820d

(подпись)

А.В.

Костановский

(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)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение основ радиационного теплообмена и их применение при проектировании различных оптико-энергетических систем

### Задачи дисциплины

- овладение терминологией в области радиационного теплообмена;
- изучение основ физических процессов радиационного теплообмена;
- овладение основами расчета процессов радиационного теплообмена в различных средах.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен к проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Имеет навыки математического описания теплогидравлических и термодинамических процессов в объектах профессиональной деятельности	знать: - методы расчета и анализа рабочих параметров в процессах радиационного теплообмена; - основы физических процессов радиационного теплообмена; - терминологию, определения, физический смысл, размерности основных величин в области радиационного теплообмена и тепломассообмена.  уметь: - использовать справочную литературу для сбора и анализа данных для проектирования; - рассчитывать основные параметры процессов радиационного теплообмена в различных средах и системах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплотехника и малая распределенная энергетика (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать курс математического анализа
- уметь пользоваться пакетом Mathcad

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа						СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Основы радиационного теплообмена	10	3	2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Задания ориентированы на освоении законов излучения модели черного тела; радиационных характеристик твердых поверхностей и определения долей потока излучения черного тела в выделенном интервале длин волн излучения.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 419-433 [2], 7-16 [6], 425-444</p>
1.1	Основные понятия и законы теплового излучения	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.2	Основные характеристики радиационного теплообмена	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
2	Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной прозрачной средой	26		4	-	10	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Радиационный теплообмен в замкнутой системе черных (серых) тел в оптически прозрачной среде. Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 442-455 [2], 16-34 [3], 123-134 [4], 378-414 [5], 5-16</p>
2.1	Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной прозрачной средой	20		2	-	8	-	-	-	-	-	10	-	
2.2	Угловые коэффициенты излучения	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	

														[6], 445-471
3	Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей и излучающей средой	37	3	-	14	-	-	-	-	-	-	20	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Радиационный теплообмен в замкнутой оптической системе, заполненной поглощающей и излучающей средой. Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 464-483 [2], 36-57 [3], 135-144 [4], 420-440 [6], 472-492</p>
3.1	Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной поглощающей и излучающей средой	32	2	-	12	-	-	-	-	-	-	18	-	
3.2	Угловые коэффициенты излучения	5	1	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	
4	Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой	13	3	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Задания ориентированы на решения аналитических задач по разделу "Радиационный теплообмен в замкнутой оптической системе, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой. Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 485-795 [2], 59-71 [6], 493-511</p>
4.1	Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой	13	3	-	4	-	-	-	-	-	-	6	-	
5	Практическое применение основ радиационного теплообмена при расчете различных элементов	22	4	-	-	-	-	-	-	-	-	18	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение основ радиационного теплообмена для выполнения расчетного задания, связанного с определением угловых коэффициентов, тепловых потоков и температуры в</p>

	энергетической системы в реальной среде												оптической системе, заполненной реальной газовой средой
5.1	Фундаментальные и смешанные задачи	22	4	-	-	-	-	-	-	-	18	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>60</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>93.5</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## **3.2 Краткое содержание разделов**

### 1. Основы радиационного теплообмена

#### 1.1. Основные понятия и законы теплового излучения

Основные понятия и законы теплового излучения.

#### 1.2. Основные характеристики радиационного теплообмена

Оптические и энергетические характеристики радиационного теплообмена..

### 2. Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной прозрачной средой

#### 2.1. Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной прозрачной средой

Уравнения переноса теплового излучения. Методы преобразования интегральных уравнений в алгебраические. Расчет радиационного теплообмена в оптической системе, заполненной прозрачной средой.

#### 2.2. Угловые коэффициенты излучения

Геометрические и разрешающие угловые коэффициенты излучения.

### 3. Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей и излучающей средой

#### 3.1. Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной поглощающей и излучающей средой

Теплообмен излучения в системе типа "серый газ в черной оболочке" и "серый газ в серой оболочке".

#### 3.2. Угловые коэффициенты излучения

Обобщающие и разрешающие обобщающие угловые коэффициенты излучения.

### 4. Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой

#### 4.1. Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой

Вектор теплового потока излучения, уравнение переноса энергии излучения. Интенсивность излучения для плоского слоя.

### 5. Практическое применение основ радиационного теплообмена при расчете различных элементов энергетической системы в реальной среде

#### 5.1. Фундаментальные и смешанные задачи

Провести расчет теплообмена излучением в оптической системе в форме параллелепипеда, заполненной поглощающей средой.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Излучение в плоском слое;

2. Зональный метод;

3. Теплообмен излучением в простейших излучающих системах, разделенных

- поглощающей и излучающей средой;
4. Разрешающие и обобщённые угловые коэффициенты излучения;
  5. Теплообмен излучением в простейших излучающих системах;
  6. Законы теплового излучения;
  7. Законы теплового излучения.

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по разделу "Основы радиационного теплообмена" параметры, понятие абсолютно черного тела, законы теплового излучения, доля излучения модели черного тела в зависимости от длины волны
2. Обсуждение материалов по разделу "Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной прозрачной средой. Фундаментальные и смешанные задачи
3. Обсуждение материалов по разделу "Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей и излучающей средой. Фундаментальные и смешанные задачи
4. Обсуждение материалов по разделу "Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой. Фундаментальные аналитические задачи
5. Разборка задач, которые подобны предполагаемому расчетному заданию

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ** Курсовой проект/ работа не предусмотрены



### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
<b>Знать:</b>							
терминологию, определения, физический смысл, размерности основных величин в области радиационного теплообмена и тепломассообмена	ИД-1ПК-1	+					Решение задач/Основные характеристики абсолютно черного тела
основы физических процессов радиационного теплообмена	ИД-1ПК-1		+				Контрольная работа/Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной прозрачной средой
методы расчета и анализа рабочих параметров в процессах радиационного теплообмена	ИД-1ПК-1				+		Тестирование/Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой
<b>Уметь:</b>							
рассчитывать основные параметры процессов радиационного теплообмена в различных средах и системах	ИД-1ПК-1					+	Индивидуальный проект/Теплообмен излучением между телами, разделенными поглощающей излучающей средой
использовать справочную литературу для сбора и анализа данных для проектирования	ИД-1ПК-1			+			Контрольная работа/Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей и излучающей средой

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **3 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Основные характеристики абсолютно черного тела (Решение задач)

Форма реализации: Письменная работа

1. Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей и излучающей средой (Контрольная работа)
2. Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой (Тестирование)
3. Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной прозрачной средой (Контрольная работа)
4. Теплообмен излучением между телами, разделенными поглощающей излучающей средой (Индивидуальный проект)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов по энергетическим специальностям / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – 3-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 . – 550 с. - ISBN 5-903072-64-X .;
2. Костановский, А. В. Радиационный теплообмен : учебное пособие по курсу "Теоретические основы теплотехники" по направлению "Теплоэнергетика и основы теплотехники" и "Энергетическое машиностроение" / А. В. Костановский, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 92 с. - ISBN 978-5-7046-2018-1 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10358](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10358);
3. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко . – 3-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2010 . – 196 с. - ISBN 978-5-383-00468-5 .;
4. Исаченко, В. П. Теплопередача : Учебник для энергетических вузов и факультетов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел . – 4-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоиздат, 1981 . – 416 с.;

5. Цветков, Ф. Ф. Теплообмен излучением. Задачи и упражнения : Учебное пособие по курсу "Тепломассообмен" / Ф. Ф. Цветков, В. И. Салохин ; Ред. В. Ю. Демьяненко ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – 1997 . – 64 с. : 3500.00 .;

6. Григорьев Б.А. , Цветков Ф.Ф. - "Тепломассообмен", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2011 - (562 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72294](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72294).

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. SmathStudio;
3. TBT Shell.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
2. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
3. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер

<p>Помещения для консультирования</p>	<p>В-209/7, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"</p>	<p>кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер</p>
<p>Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря</p>	<p>В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"</p>	<p>кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер</p>

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Радиационный теплообмен

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Основные характеристики абсолютно черного тела (Решение задач)
- КМ-2 Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной прозрачной средой (Контрольная работа)
- КМ-3 Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей и излучающей средой (Контрольная работа)
- КМ-4 Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой (Тестирование)
- КМ-5 Теплообмен излучением между телами, разделенными поглощающей излучающей средой (Индивидуальный проект)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	10	14	16
1	Основы радиационного теплообмена						
1.1	Основные понятия и законы теплового излучения		+				
1.2	Основные характеристики радиационного теплообмена		+				
2	Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной прозрачной средой						
2.1	Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной прозрачной средой			+			
2.2	Угловые коэффициенты излучения			+			
3	Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей и излучающей средой						
3.1	Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной поглощающей и излучающей средой				+		
3.2	Угловые коэффициенты излучения				+		
4	Радиационный теплообмен в замкнутой системе серых тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой						
4.1	Лучистый теплообмен в системе тел, заполненной поглощающей, излучающей и рассеивающей средой					+	

5	Практическое применение основ радиационного теплообмена при расчете различных элементов энергетической системы в реальной среде					
5.1	Фундаментальные и смешанные задачи					+
Вес КМ, %:		10	30	25	10	25