

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

Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛООБМЕН ИЗЛУЧЕНИЕМ

| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.13 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 8 семестр - 4; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 144 часа |
| Лекции | 8 семестр - 28 часа; |
| Практические занятия | 8 семестр - 14 часов; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | 8 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 8 семестр - 99,5 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 8 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение физических закономерностей испускания, распространения и поглощения теплового излучения, а также получение практических навыков расчета теплообмена излучением в различных инженерных системах.

Задачи дисциплины

- изучить основные физические законы испускания, распространения и поглощения теплового излучения;
- получить информацию о свойствах веществ, определяющих их взаимодействие с излучением, и методах расчета теплообмена излучением в различных системах;
- научиться применять изученные методы расчета теплообмена излучением на практике.

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-3 Способен проводить расчеты теплофизических характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования | ИД-1ПК-3 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. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплофизика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 | Основные законы теплообмена излучением | 10 | 8 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные законы теплообмена излучением"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основные законы теплообмена излучением" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основные законы теплообмена излучением"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 16-28 [4], 16-28</p> |
| 1.1 | Основные законы теплообмена излучением | 10 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | |
| 2 | Угловые коэффициенты | 16 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 10 | |
| 2.1 | Угловые коэффициенты | 16 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 10 | - | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Угловые коэффициенты"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Угловые коэффициенты" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Угловые коэффициенты и подготовка к контрольной работе</p> |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|--|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Угловые коэффициенты". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 380-400 [4], 28-42</p> |
| 3 | Теплообмен излучением в диатермической среде | 38 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 28 | - | | | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплообмен излучением в диатермической среде"</p> |
| 3.1 | Теплообмен излучением в диатермической среде | 38 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 28 | - | | | <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Теплообмен излучением в диатермической среде". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Теплообмен излучением в диатермической среде" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[2], 1-28 [4], 42-57</p> |
| 4 | Излучательные свойства реальных тел | 7 | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - | 4 | - | | | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение</p> |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|
| 4.1 | Излучательные свойства реальных тел | 7 | | 2 | - | 1 | - | - | - | - | - | 4 | - | дополнительного материала по разделу "Излучательные свойства реальных тел" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Излучательные свойства реальных тел" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 61-68 |
| 5 | Формула Планка | 21 | | 6 | - | 3 | - | - | - | - | - | 12 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Формула Планка" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Формула Планка" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Формула Планка и подготовка к контрольной работе <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 73-98 |
| 5.1 | Формула Планка | 21 | | 6 | - | 3 | - | - | - | - | - | 12 | - | |
| 6 | Перенос излучения в непрозрачных средах | 16 | | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 8 | - | <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы |
| 6.1 | Перенос излучения в непрозрачных средах | 16 | | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 8 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Перенос излучения в непрозрачных средах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение</u> |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|----|------|--|
| | | | | | | | | | | | | | <i>теоретического материала:</i> Изучение дополнительного материала по разделу "Перенос излучения в непрозрачных средах" <i>Изучение материалов литературных источников:</i> [4], 98-122 |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Всего за семестр | 144.0 | 28 | - | 14 | - | 2 | - | - | 0.5 | 66 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 144.0 | 28 | - | 14 | | 2 | | - | 0.5 | | 99.5 | |

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. Основные законы теплообмена излучением

1.1. Основные законы теплообмена излучением

Равновесное (тепловое) излучение. Энергия излучения, поток излучения, плотность потока излучения, угловая плотность потока излучения, интенсивность излучения. Коэффициенты отражения, поглощения и прохождения. Черное тело. Серое тело. Диффузное излучение, зеркальное и диффузное отражение. Потoki: излучаемый, поглощаемый, отраженный, результирующий, эффективный. Закон косинусов Ламберта. Связь интенсивности излучения черного тела с плотностью потока излучения. Связь плотности потока излучения с его объемной плотностью внутренней энергии. Закон Кирхгофа. Формула Планка. Приближения Вина. Приближение Рэлея–Джинса. Закон смещения Вина. Закон Стефана–Больцмана..

2. Угловые коэффициенты

2.1. Угловые коэффициенты

Определение угловых коэффициентов. Угловой коэффициент в системе двух элементарных площадок. Угловой коэффициент в системе элементарная площадка – поверхность конечных размеров. Угловой коэффициент в системе двух поверхностей конечных размеров. Соотношение взаимности и условие замыкаемости. Методы определения угловых коэффициентов: аналитический расчет, численный расчет, алгебра угловых коэффициентов, метод контурного интегрирования..

3. Теплообмен излучением в диатермической среде

3.1. Теплообмен излучением в диатермической среде

Теплообмен излучением как система граничных условий к уравнению теплопроводности. Расчет теплообмена в системе черных поверхностей при заданных температурах либо результирующих плотностях потоков. Зональный метод исследования лучистого теплообмена в системе неизотермических поверхностей. Метод сальдо расчета теплообмена излучением в системе серых поверхностей. Резольвентный метод, разрешающие угловые коэффициенты..

4. Излучательные свойства реальных тел

4.1. Излучательные свойства реальных тел

Зависимость излучательной способности металлов от длины волны, температуры, направления излучения и состояния поверхности. Излучательные свойства диэлектриков. Испускание и поглощение излучения газами. Размерные эффекты. Пирометрические методы измерения температуры. Температуры: радиационная, яркостная, цветовая. Сравнительные характеристики различных типов пирометров..

5. Формула Планка

5.1. Формула Планка

Формула Планка (вывод Планка). Следствия из формулы Планка: приближения Вина и Рэлея–Джинса, закон смещения Вина, формула Стефана–Больцмана. Связь постоянной Стефана–Больцмана с фундаментальными физическими константами. Понятие о спонтанном и вынужденном излучении; формула Планка (вывод Эйнштейна)..

6. Перенос излучения в непрозрачных средах

6.1. Перенос излучения в непрозрачных средах

Элементарные процессы: поглощение, рассеяние, спонтанное и вынужденное излучение. Уравнение переноса излучения в излучающей, поглощающей и рассеивающей среде. Его приближения: холодная среда, горячая среда, почти прозрачная среда. Приближение Милна–Эддингтона и Шустера–Шварцильда. Диффузионное приближение. Перенос излучения в плоском слое..

3.3. Темы практических занятий

1. Угловые коэффициенты;
2. Теплообмен излучением в простой системе;
3. Теплообмен излучением в сложной системе;
4. Излучательные свойства реальных тел. Пирометрия;
5. Излучение в ограниченной области спектра;
6. Пределы применимости приближений формулы Планка;
7. Перенос излучения в недиатермической среде.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные законы теплообмена излучением"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Угловые коэффициенты"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообмен излучением в диатермической среде"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Излучательные свойства реальных тел"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Формула Планка"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Перенос излучения в непрозрачных средах"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные законы теплообмена излучением"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Угловые коэффициенты"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Теплообмен излучением в диатермической среде"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Излучательные свойства реальных тел"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Формула Планка"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Перенос излучения в непрозрачных средах"

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 | 6 | |
| Знать: | | | | | | | | |
| методы решения задач теплообмена излучением | ИД-1 _{ПК-3} | + | | + | | | | Расчетно-графическая работа/Теплообмен излучением в сложной системе |
| особенности переноса излучения в ограниченном спектральном диапазоне | ИД-1 _{ПК-3} | | | | + | + | + | Расчетно-графическая работа/Теплообмен излучением в сложной системе Контрольная работа/Учет спектрального состава излучения |
| Уметь: | | | | | | | | |
| рассчитывать угловые коэффициенты | ИД-1 _{ПК-3} | | + | | | | | Расчетно-графическая работа/Теплообмен излучением в сложной системе |
| рассчитывать радиационный теплообмен в произвольной системе | ИД-1 _{ПК-3} | | + | + | | | | Контрольная работа/Определение угловых коэффициентов Контрольная работа/Теплообмен излучением в простейшей системе |

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

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)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №8)

Итоговая оценка БАРС.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. 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.;
2. Герасимов, Д. Н. Теплообмен излучением. Задачи : учебное пособие по курсу "Теплообмен излучением" по направлению "Техническая физика" / Д. Н. Герасимов ; Ред. В. В. Глазков ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 28 с. - ISBN 5-7046-1344-6 . http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=3262;
3. Герасимов, Д. Н. Теплообмен излучением : учебник [для вузов] / Д. Н. Герасимов, С. Б. Моргунова . – Санкт-Петербург : Лань, 2021 . – 156 с. - ISBN 978-5-8114-7358-8 .;
4. Герасимов Д. Н., Моргунова С. Б.- "Теплообмен излучением", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (156 с.) <https://e.lanbook.com/book/176845>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. 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 | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| | Т-408, Учебная аудитория | стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Т-408, Учебная аудитория | стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Т-408, Учебная аудитория | стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный |
| Помещения для самостоятельной работы | Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники | стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный |
| Помещения для консультирования | Т-205, Учебная аудитория | стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | Т-213, Подсобное помещение | |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Теплообмен излучением

(название 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.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 5 | 8 | 10 | 13 |
| 1 | Основные законы теплообмена излучением | | | | | |
| 1.1 | Основные законы теплообмена излучением | | | | + | |
| 2 | Угловые коэффициенты | | | | | |
| 2.1 | Угловые коэффициенты | | + | + | + | |
| 3 | Теплообмен излучением в диатермической среде | | | | | |
| 3.1 | Теплообмен излучением в диатермической среде | | + | + | + | |
| 4 | Излучательные свойства реальных тел | | | | | |
| 4.1 | Излучательные свойства реальных тел | | | | + | + |
| 5 | Формула Планка | | | | | |
| 5.1 | Формула Планка | | | | + | + |
| 6 | Перенос излучения в непрозрачных средах | | | | | |
| 6.1 | Перенос излучения в непрозрачных средах | | | | + | + |
| Вес КМ, %: | | | 20 | 20 | 40 | 20 |