

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан  
Л. В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

**Теплообмен излучением**

по направлению подготовки

**01.04.03 Механика и математическое моделирование**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Механика жидкости, газа и нефтегазотранспортных систем**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2024, 2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
А.М. Бубенчиков

Председатель УМК  
Е.А. Тарасов

Томск – 2024

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.1 Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач

ИПК 1.2 Определяет способы практического использования научных (научно-технических) результатов

ИПК 1.3 Осуществляет наставничество в процессе проведения исследований

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Получение теоретических знаний об основных механизмах теплообмена излучением.

– Освоение студентами основных методов решения задач теплообмена излучением.

– Выработка у студентов навыков самостоятельной работы с открытыми пакетами прикладных программ (Salome, OpenFOAM, ParaView) при решения задач теплообмена излучением.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Первый семестр, зачет с оценкой

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 16 ч.

-практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Основные понятия теплообмена

Краткое содержание темы:

Основные понятия и определения из термодинамики и теплообмена. Теплопроводность. Конвективный теплообмен.

Тема 2. Введение в теорию теплообмена излучением

Краткое содержание темы:

Основные понятия и определения. Природа теплового излучения. Спектр излучения. Взаимосвязь основных механизмов переноса энергии.

Тема 3. Основные законы теплового излучения абсолютно черного тела

Краткое содержание темы:

Понятие «абсолютно черное тело». Законы Планка, Кирхгофа, Вина, Рэлея-Джинса, Стефана-Больцмана. Спектральные и интегральные характеристики излучения. Телесный угол.

Тема 4. Собственное, результирующее и эффективное излучение тела

Краткое содержание темы:

Параметры и характеристики теплового излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тела. Различные подходы к определению результирующего излучения.

Тема 5. Серое тело и степень черноты

Краткое содержание темы:

Основные характеристики серого тела. Интегральная и спектральная степень черноты тел. Закон Стефана-Больцмана для серых тел.

Тема 6. Теплообмен излучением между серыми телами

Краткое содержание темы:

Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Теплообмен излучением между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве. Угловые коэффициенты излучения.

Тема 7. Лучистый теплообмен при наличии экранов

Краткое содержание темы:

Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями при наличии экранов. Альфа-, бета-, гамма-излучения. Варианты защиты от излучения.

Тема 8. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах

Краткое содержание темы:

Понятие диатермичной среды. Спектральный коэффициент поглощения среды. Уравнение переноса лучистой энергии. Оптическая толщина среды. Закон Бугера.

Тема 9. Особенности излучения газов и паров. Сложный теплообмен.

Краткое содержание темы:

Недиатермичные среды. Излучения газов и паров. Перенос энергии излучением совместно с теплопроводностью и (или) конвекцией.

Тема 10. Основы моделирования теплообмена излучением с использованием программного комплекса OpenFOAM

Краткое содержание темы:

Знакомство с платформой OpenFOAM. Создание геометрии и построение расчетной сетки. Методы решения задач теплообмена излучением. Визуализация полученных данных в графическом пакете ParaView. Анализ полученных результатов.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости и выполнения индивидуальных заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой в первом семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность зачета 2 часа.

Вопросы для проверки сформированности знаний и умений:

1. Основные законы теплового излучения. Виды лучистых потоков.
2. Классификация электромагнитного излучения в зависимости от длины волны.

Спектр излучения различных тел.

3. Спектральные и интегральные характеристики энергии излучения.
4. Равновесное излучение. Понятие абсолютно черного тела.
5. Формулировка закона Кирхгофа. Следствия, вытекающие из этого закона.
6. Закон Планка. Закон Рэлея-Джинса. Закон излучения Вина.
7. Закон смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана.
8. Поглощательная и отражательная способности тел.
9. Понятие серого тела. Степень черноты.

10. Методы исследования лучистого теплообмена (методы многократных отражений, эффективных потоков, сальдо).

11. Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами.

Результирующий поток излучения.

12. Теплообмен излучением при наличии экранов.
13. Лучистый теплообмен в системе, состоящей из двух коаксиальных цилиндров.
14. Угловые коэффициенты излучения. Свойства угловых коэффициентов излучения.
15. Методы определения угловых коэффициентов излучения.
16. Зональный метод исследования лучистого теплообмена.
17. Уравнение переноса энергии в поглощающей среде.
18. Уравнение переноса энергии в поглощающей и излучающей среде.
19. Оптическая толщина среды.
20. Особенности излучения газов и паров.
21. Лучистый теплообмен между газом и оболочкой.
22. Перенос энергии излучением совместно с теплопроводностью и (или) конвекцией. Ключевые особенности.

Примеры базовых задач радиационного теплопереноса:

1. Определить температуру абсолютно черного тела, если плотность потока собственного излучения равна  $2000 \text{ кВт/м}^2$ .

2. Определить длину волны, соответствующую максимальному значению спектральной плотности потока излучения от поверхности металлического листа с температурой  $550^\circ\text{C}$ .

3. Площадь поверхности нити 90-ваттной вольфрамовой лампы накаливания равна  $0.4 \text{ см}^2$ . Поглощательная способность вольфрама равна 0,6. Определить температуру нити накала.

4. Плотность потока падающего излучения на серое непрозрачное тело при температуре  $900 \text{ К}$  равна  $100 \text{ кВт/м}^2$ . Найти  $E_{\text{соб}}$ ,  $E_{\text{погл}}$ ,  $E_{\text{отр}}$ ,  $E_{\text{эфф}}$ ,  $q_{\text{рез}}$ , если поглощательная способность тела  $A = 0.6$ .

5. Определить приведенную степень черноты системы, состоящей из трубопровода с наружным диаметром 0.2 м, расположенного в центре кирпичного квадратного канала со стороной 0.4 м. Степень черноты трубы 0.6, а степень черноты стенок канала 0.8.

Допуск студентов к зачету с оценкой осуществляется только при условии успешного выполнения индивидуальных заданий в течение семестра.

Критерии оценки индивидуальных заданий по курсу «Теплообмен излучением»:

– «зачёт» выставляется студенту, если он полностью выполнил задание, показал отличные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала, задание оформлено аккуратно.

– «не зачтено» выставляется студенту, если он не полностью выполнил задание, при этом проявил недостаточный уровень знаний и умений, а также не способен пояснить полученный результат.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

При определении оценки учитываются:

– полнота и содержательность ответа;

– умение привести примеры;

– умение отстаивать свою позицию на основании положений нормативно-правовых актов;

– умение пользоваться дополнительной литературой при подготовке к занятиям;

– соответствие представленной в ответах информации материалам лекций и учебной литературы, сведениям из информационных ресурсов Интернет.

Ответы на вопросы к зачету оцениваются по следующим критериям:

Оценка «отлично». Ответы на поставленные вопросы в билете излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Делаются обоснованные выводы. Соблюдаются нормы литературной речи.

Оценка «хорошо». Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Материал излагается уверенно. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Соблюдаются нормы литературной речи.

Оценка «удовлетворительно». Допускаются нарушения в последовательности изложения. Демонстрируются поверхностные знания вопроса. Имеются затруднения с выводами. Допускаются нарушения норм литературной речи.

Оценка «неудовлетворительно». Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Имеются заметные нарушения норм литературной речи.

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «IDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=25422>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

– Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. – М.: Мир, 1975. – 935 с.

– Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. – Л.: Энергия, 1971. – 296 с.

– Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассобмен. уч. пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 550 с

б) дополнительная литература:

- Блох А.Г. Основы теплообмена излучением. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 330 с.
- М. С. Лобасова, К. А. Финников, Т. А. Миловидова, А. А. Дектерев, Д. С. Серебренников, А. В. Минаков, И. А. Кузоватов, В. В. Васильев. Тепломассообмен. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.
- Панкратов И.А. Математическое моделирование реальных процессов в пакете OpenFOAM. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2019. – 61 с.
- в) ресурсы сети Интернет:
  - Сайт открытого пакета OpenFOAM – <https://www.openfoam.com/>
  - Графический пакет ParaView – <https://www.paraview.org/>
  - Журнал «Вестник Томского государственного университета. Математика и механика» – <http://journals.tsu.ru/mathematics/>

### **13. Перечень информационных технологий**

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
  - OpenFOAM v10, Salome 9.9.0 : пакеты программ.
  - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
  - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
 

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ	–	
<a href="http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&amp;theme=system">http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&amp;theme=system</a>		
– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ	–	
<a href="http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index">http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index</a>		
– ЭБС Лань – <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>		
– ЭБС Консультант студента – <a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a>		
– Образовательная платформа Юрайт – <a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>		
– ЭБС ZNANIUM.com – <a href="https://znanium.com/">https://znanium.com/</a>		
– ЭБС IPRbooks – <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>		

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа с проектором.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### **15. Информация о разработчиках**

Мирошниченко Игорь Валерьевич, к.ф.-м.н., доцент, кафедра теоретической механики механико-математического факультета ТГУ, доцент