

**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: Промышленная теплоэнергетика

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕПЛОМАССООБМЕН**


|   |   |
|---|---|
| <b>Блок:</b>  | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>   |
| <b>Часть образовательной программы:</b>   | <b>Обязательная</b>   |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>  | <b>Б1.О.21</b>  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>  | <b>4 семестр - 5;<br/>5 семестр - 5;<br/>всего - 10</b>                         |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>   | <b>360 часов</b>  |
| <b>Лекции</b>   | <b>4 семестр - 32 часа;<br/>5 семестр - 32 часа;<br/>всего - 64 часа</b>        |
| <b>Практические занятия</b>   | <b>4 семестр - 32 часа;<br/>5 семестр - 32 часа;<br/>всего - 64 часа</b>        |
| <b>Лабораторные работы</b>  | <b>4 семестр - 16 часов;<br/>5 семестр - 16 часов;<br/>всего - 32 часа</b>      |
| <b>Консультации</b>   | <b>4 семестр - 2 часа;<br/>5 семестр - 2 часа;<br/>всего - 4 часа</b>           |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>4 семестр - 97,5 часа;<br/>5 семестр - 97,5 часа;<br/>всего - 195,0 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><br>Тестирование<br>Контрольная работа<br>Отчет<br>Творческая задача |   |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>  |   |
| Экзамен   | 4 семестр - 0,5 часа;   |
| Экзамен   | 5 семестр - 0,5 часа;   |
|   | <b>всего - 1,0 час</b>  |

**Москва 2018**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

|   |  |                               |
|---|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|   | Владелец   | Сиденков Д.В.                 |
|   | Идентификатор                                      | R7ad01b54-SidenkovDV-41309924 |

(подпись)

Д.В. Сиденков

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|   |  |                                 |
|---|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|   | Владелец   | Шелгинский А.Я.                 |
|   | Идентификатор                                      | Rf4e216f4-ShelginskyAY-88390edf |

(подпись)

А.Я.

Шелгинский

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|   |  |                                |
|---|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|   | Владелец   | Яворовский Ю.В.                |
|   | Идентификатор                                      | R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149 |

(подпись)

Ю.В.

Яворовский

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение основ теории тепло- и массообмена, процессов переноса теплоты и массы протекающих в природе, в технологических процессах и технологических установках, развитие технического взгляда на окружающий мир, технического образа мышления.

### Задачи дисциплины

- изучение процессов переноса теплоты и массы, физико-математических моделей этих процессов;
- освоение методов расчета температурных полей, тепловых потоков в элементах теплотехнических и теплотехнологических установок;
- освоение методов расчета потоков вещества в элементах теплотехнических и теплотехнологических установок;
- развитие мышления и практических навыков, приобретенных обучающимися при изучении дисциплин математического и естественнонаучного цикла, с ориентацией на профессию.

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   |
|--|--|---|
| ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах | ИД-3 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем | знать:<br>- законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (5);<br>- калорические и переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (5);<br>- законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (5);<br>- законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (4);<br>- калорические и переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (4);<br>- законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (4).<br><br>уметь:<br>- рассчитывать процессы теплообмена в элементах теплотехнического и |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения   |
|--------------------------------|--|---|
|                                |  | <p>теплотехнологического оборудования (5);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов тепломассообмена (5);</li> <li>- рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов (5);</li> <li>- рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов (4);</li> <li>- рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов тепломассообмена (4);</li> <li>- рассчитывать процессы тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования (4).</li> </ul> |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Промышленная теплоэнергетика (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: "Математика", "Физика", "Теоретическая механика", "Динамика и прочность машин", "Техническая термодинамика", "Гидрогазодинамика", "Информационные технологии", "Инженерная и компьютерная графика"
- уметь Работать с современными компьютерными средствами

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 10 зачетных единиц, 360 часов.

| № 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     | Теплопроводность и тепловое излучение (семестр №4)   | 144                   | 4       | 32   | 16  | 32 | -            | - | -   | -  | -  | 64                | -                                 | <p><b>Подготовка расчетных заданий:</b> КМ-5</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> [1], стр. 482-489, 491, 493-512; [9], стр.464-474, 480-484; [6] гл.21 с.1-12, гл.22 с.1-33, гл.23, с. 1-18</p> <p>Проработка и повторение лекционного материала</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> [1], стр. 458-467, 471; [9], стр.417-463. [6] гл.21 с.1-12, гл.22 с.1-33, гл.23, с. 1-18</p> <p>Подготовка к лаб. работам №3, 4 (КМ-3, 6). Подготовка к КР №2 (КМ-4).</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> [1], стр. 107-111, 114-122, 124; [9], стр.90-111; [3] с.67-94; [6] гл.10 с.1-49</p> <p>Подготовка к лаб. работам №2 (КМ-3,6) Выполнение п. 3 расчетного задания (КМ-5)</p> <p><b>Подготовка расчетных заданий:</b> КМ-5</p> <p><b>Подготовка к контрольной работе:</b> КМ-2</p> <p><b>Подготовка к текущему контролю:</b> КМ-1</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> [1], стр. 50-54, 59-62, 70-85, 88; [9], стр.31-69. [3] с.67-94; [6] гл.10 с.1-49</p> <p>Подготовка к лаб. работам №1 (КМ-3). Подготовка к КР №1 (КМ-2)</p> <p>Выполнение п. 1 и 2 расчетного задания</p> |
| 1.1   | Введение в теплообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология            | 6                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 2                 | -                                 |  |
| 1.2   | Одномерные стационарные задачи теплопроводности  | 36                    |         | 8  | 4   | 8  | -            | - | -   | -  | -  | 16                | -                                 |  |
| 1.3   | Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности                                     | 38                    |         | 8  | 4   | 8  | -            | - | -   | -  | -  | 18                | -                                 |  |
| 1.4   | Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой                           | 36                    |         | 8  | 4   | 8  | -            | - | -   | -  | -  | 16                | -                                 |  |
| 1.5   | Теплообмен излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных | 28                    |         | 6  | 4   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | 12                | -                                 |  |

|     |  |              |   |           |           |           |          |          |          |            |             |           |             |  |
|-----|--|--------------|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|------------|-------------|-----------|-------------|--|
|     | устройств  |              |   |           |           |           |          |          |          |            |             |           |             | (КМ-5)<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [9], стр. 5-21, [1], стр.17-27, 33; [3] с. 1-63 Тест № 1 (КМ-1)<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[2], главы 1, 2, 10, 11<br>[3], с. 1-63с.67-94<br>[6], глава Нестационарная теплопроводность<br>[7], 1-70<br>[8], 124-300<br>[9], стр. 5-21стр.31-69стр.90-111стр.417-463стр.464-474, 480-484<br>[10], 1-65<br>[11], 1-64<br>[12], стр.17-27, 33стр. 50-54, 59-62, 70-85, 88стр. 107-111, 114-122, 124стр. 458-467, 471стр. 482-489, 491, 493-512  |
|     | Экзамен  | 36.0         |   | -         | -         | -         | -        | 2        | -        | -          | 0.5         | -         | 33.5        |  |
|     | <b>Всего за семестр</b>  | <b>180.0</b> |   | <b>32</b> | <b>16</b> | <b>32</b> | <b>-</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b>   | <b>0.5</b>  | <b>64</b> | <b>33.5</b> |  |
|     | <b>Итого за семестр</b>  | <b>180.0</b> |   | <b>32</b> | <b>16</b> | <b>32</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>0.5</b> | <b>97.5</b> |           |             |  |
| 2   | Конвективный теплообмен (семестр №5)                             | 144          | 5 | 32        | 16        | 32        | -        | -        | -        | -          | -           | 64        | -           | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 371-387, 398, 410-418, [9], стр. 369-416; [3] с. 1-63<br>Проработка и повторение лекционного материала<br><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> КМ-5<br><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> КМ-4<br><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> КМ-6<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 516-521, 535-537, 543, [12], стр. 5-68, [9], стр.502-533; [6] гл.24, с. 1-24, гл.25, с. 1-21.<br>Подготовка к лаб. работам №3, 4 (КМ-6);<br>Выполнение п. 4 расчетного задания (КМ-5) |
| 2.1 | Введение в конвективный теплообмен                               | 6            |   | 2         | -         | 2         | -        | -        | -        | -          | -           | 2         | -           | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> [1], стр. 352-365, 369, 321-327, 332, [9], стр.297-329, 330-368; [5] с.3-20, [6] гл.17 с.1-26, гл.18 с.1-35,  |
| 2.2 | Внешняя задача конвективного теплообмена                         | 24           |   | 6         | 4         | 6         | -        | -        | -        | -          | -           | 8         | -           |  |
| 2.3 | Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах) | 24           |   | 4         | 4         | 4         | -        | -        | -        | -          | -           | 12        | -           |  |
| 2.4 | Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя               | 40           |   | 10        | 4         | 10        | -        | -        | -        | -          | -           | 16        | -           |  |
| 2.5 | Теплообменные  | 36           |   | 8         | 4         | 8         | -        | -        | -        | -          | -           | 16        | -           |  |



|  |                  |              |   |           |           |           |          |   |   |   |            |    |              |  |
|--|------------------|--------------|---|-----------|-----------|-----------|----------|---|---|---|------------|----|--------------|--|
|  | Экзамен          | 36.0         |   | -         | -         | -         | -        | 2 | - | - | 0.5        | -  | 33.5         |  |
|  | Всего за семестр | 180.0        |   | 32        | 16        | 32        | -        | 2 | - | - | 0.5        | 64 | 33.5         |  |
|  | Итого за семестр | 180.0        |   | 32        | 16        | 32        | 2        |   | - |   | 0.5        |    | 97.5         |  |
|  | <b>ИТОГО</b>     | <b>360.0</b> | - | <b>64</b> | <b>32</b> | <b>64</b> | <b>4</b> |   | - |   | <b>1.0</b> |    | <b>195.0</b> |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Теплопроводность и тепловое излучение (семестр №4)

1.1. Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология

Способы тепло- и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Феноменологический метод изучения явлений тепло- и массообмена. Определение основных понятий: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока. Вектор плотности теплового потока. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей и твёрдых тел. Тепловое взаимодействие потока жидкости с обтекаемой поверхностью твердого тела. Закон Ньютона-Рихмана. Теплопередача..

1.2. Одномерные стационарные задачи теплопроводности

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности. Перенос теплоты в плоской и цилиндрической стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую и цилиндрическую стенки. Термические сопротивления. Коэффициент теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор эффективной изоляции по её критическому диаметру. Влияние граничных условий на температурный режим цилиндрических многослойных трубопроводов. Расчет изменения температуры жидкости по длине трубопровода (Задача Шухова). Температурное поле при наличии в теле источников теплоты (пластина, цилиндрический стержень). Оребрение поверхности теплообмена как способ интенсификации процесса теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра. Перенос теплоты по стержню (ребру). Тепловой поток с поверхности стержня (ребра)..

1.3. Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности

Нестационарные задачи теплопроводности. Метод разделения переменных решения линейного уравнения теплопроводности (метод Фурье). Понятие о подобных процессах теплопроводности. Безразмерная форма задачи о нестационарном температурном поле в охлаждаемой пластине. Число Био. Безразмерное время (число Фурье). Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) бесконечно длинного цилиндра и некоторых тел конечных размеров. Регулярный режим охлаждения. Определение теплофизических свойств материалов методом регулярного режима. Теоремы Кондратьева..

1.4. Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой

Физическая природа теплового излучения. Классификация потоков излучения. Формула Поляка. Интегральные и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения. Излучение реальных тел, идеальные тела. Законы излучения абсолютно черного тела. Законы Ламберта, Кирхгофа, понятие диффузной поверхности излучения и серого тела. Лучистый теплообмен в замкнутой системе серых тел, разделенных диатермичной средой. Угловые коэффициенты излучения. Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами; телом и оболочкой; экранирование излучения. Теоретические основы современных зональных методов расчёта теплообмена излучением. Интегральные уравнения излучения..

1.5. Теплообмен излучением между излучающе–поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств

Приближенный расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе тел, разделенных излучающе–поглощающей средой (серое приближение). Расчёт теплообмена в системе типа «газ в оболочке». Закон Бугера. Определение поглотительной способности и степени

черноты среды (продуктов сгорания). Эффективная длина луча. Понятие о методах расчёта сложного теплообмена (радиационно-кондуктивного и радиационно-конвективного)..

## 2. Конвективный теплообмен (семестр №5)

### 2.1. Введение в конвективный теплообмен

Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности, обобщенное дифференциальное уравнение. Условия однозначности, уравнение теплоотдачи. Понятие пограничного слоя. Гидродинамический и тепловой пограничный слой. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя. Качественный анализ характеристик пограничного слоя. Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Релея, число Нуссельта. Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по числу Прандтля. Экспериментальное изучение процессов конвективного теплообмена. Применение методов теории подобия и размерности для теплового моделирования. Пи – теорема. Уравнения подобия. Турбулентность. Рейнольдсовы преобразования дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля..

### 2.2. Внешняя задача конвективного теплообмена

Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. Задачи Блазиуса и Польгаузена. Аналогия Рейнольдса. Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании трубы и пучка труб. Теплоотдача при свободном движении жидкости около тел (пластина, труба), находящихся в неограниченном объёме жидкости. Свободная конвекция в ограниченном объёме (щели, зазоры)..

### 2.3. Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)

Теплообмен при движении теплоносителей в трубах и каналах. Первое начало термодинамики для течения в трубах. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении в трубе. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Учет начального участка, граничных условий. Число Пекле. Задача Гретца-Нуссельта. Интеграл Лайона. Турбулентное движение в трубах. Применение аналогии Рейнольдса для получения расчетных соотношений. Число Стантона. Формулы Диттуса-Белтера, Михеева, Петухова, Пуазейля, Блазиуса и Филоненко. Диаграмма Моуди. Расчет коэффициента теплопередачи. Формула Шухова. Особенности теплообмена при течении жидких металлов, сжимаемого газа, сверхкритического флюида. Интенсификация конвективного теплообмена при течении теплоносителя в трубах и каналах..

### 2.4. Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя

Теплообмен при кипении жидкостей. Кривая кипения. Пузырьковое и плёночное кипение на поверхности. Критический радиус пузырька. Расчёт коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении на поверхности в большом объёме. Формулы Лабунцова, Розенау. Критические тепловые нагрузки при кипении. Формулы Кутателадзе, Зубера. Теплоотдача при плёночном кипении. Формула Бромли. Кипение в трубах. Режим течения парожидкостной смеси. Гидродинамика и теплообмен при кипении в трубах. Кризисы теплоотдачи первого и второго рода. Расчёт коэффициентов запаса до кризиса. Теплообмен при конденсации пара. Плёночная и капельная конденсация. Теория Нуссельта. Поправочные коэффициенты к теории Нуссельта по Д.А. Лабунцову (на волновое течение и переменность физических свойств конденсата). Турбулентное течение плёнки конденсата –

расчёт коэффициента теплоотдачи (размерная и безразмерная формулировка). Влияние влажности и перегрева пара, примесей воздуха в паре..

### 2.5. Теплообменные аппараты

Классификация теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Среднеарифметический температурный напор. Прямоток, противоток, сложные схемы движения теплоносителей. Конструкторский и поверочный тепловые расчеты рекуперативного теплообменника. Метод среднеарифметического температурного напора расчета теплообменных аппаратов. Понятие эффективности ( $\epsilon$ ) теплообменного аппарата и числа единиц переноса (NTU). Метод  $\epsilon - NTU$  расчета теплообменного аппарата. Оценка максимальной теплопроизводительности теплообменного аппарата. Сравнение прямого и противотока, предельные случаи. Теплогидравлический расчет теплообменника типа «труба в трубе» и пластинчатого теплообменника. Понятие о расчёте смешивательных теплообменников и о расчёте регенеративных теплообменных аппаратов..

### 2.6. Основные понятия массообмена

Концентрационная диффузия (массы). Вектор плотности потока массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Термо и бародиффузия. Дифференциальные уравнения совместных процессов массо- и теплообмена. Диффузионный пограничный слой. Аналогия процессов массо- и теплообмена. Диффузионные аналоги чисел Нуссельта и Прандтля. Соотношения материального и энергетического баланса для межфазной границы. Случай полупроницаемой межфазной границы. Формула Стефана. Стефанов поток. Массо- и теплообмен при испарении в парогазовую среду. Адиабатное испарение. Массо- и теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси..

## 3.3. Темы практических занятий

1. Теплопроводность плоского слоя при постоянном коэффициенте теплопроводности. (4 семестр);
2. 14. Законы теплового излучения абсолютно черного тела. Излучение (и поглощение) серых тел, реальных тел. (4 семестр);
3. 13. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. (4 семестр);
4. 12. Расчет температурного поля в трехмерных телах простой геометрии. Количество теплоты, отданной телом в процессе охлаждения (нагрева) (4 семестр);
5. 11. Расчет температурного поля в бесконечной пластине и цилиндре. (4 семестр);
6. 10. Методы подобия и размерностей в задачах теплопроводности. Числа подобия. (4 семестр);
7. 9. Нестационарные задачи теплопроводности. Метод Фурье применительно к телам простой геометрии. (4 семестр);
8. 5. Расчет тепловых потерь теплоизолированного трубопровода. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор тепловой изоляции цилиндра (4 семестр);
9. 7. Температурное поле в ребре. Коэффициент эффективности ребра. (4 семестр);
10. 6. Температурное поле в телах с внутренними источниками теплоты (4 семестр);
11. 15. Расчет теплообмена излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой. Угловые коэффициенты излучения. Зональный метод расчета излучения в замкнутой системе тел. (4 семестр);
12. 4. Теплопередача через цилиндрическую стенку. (4 семестр);
13. 3. Теплопередача через однослойную и многослойную стенку. (4 семестр);
14. 2. Теплопроводность плоского слоя при переменном коэффициенте теплопроводности. Многослойная стенка (4 семестр);
15. 8. Расчет теплоотдачи (теплопередачи) оребренной поверхности теплообмена (плоская стенка, цилиндрическая поверхность). (4 семестр);

16. 16.Определение степени черноты и поглощательной способности газового объёма. Расчет лучистого теплообмена в системе тело-оболочка в «сером» и «не сером» приближении. (4 семестр);
17. 1.Расчет теплоотдачи при внешнем обтекании тел (пластина). (5 семестр);
18. 2.Методы подобия и размерностей в задачах конвективного теплообмена. Числа подобия. Уравнения подобия. (5 семестр);
19. 3.Расчет теплоотдачи при внешнем обтекании тел (труба) (5 семестр);
20. 4.Расчет теплоотдачи при внешнем обтекании тел (пучки труб) (5 семестр);
21. 5.Расчет теплоотдачи при свободном движении жидкости. (5 семестр);
22. 6.Расчет теплоотдачи при течении жидкостей в каналах. (5 семестр);
23. 7.Особые случаи расчета теплоотдачи (теплоотдача жидких металлов, учет сжимаемости газа, сверхкритического состояния вещества). (5 семестр);
24. 8.Механизм кипения жидкостей. Расчет основных параметров кипящей жидкости. (5 семестр);
25. 9.Расчет теплоотдачи при развитом пузырьковом и пленочном кипении в большом объёме. Кризис кипения первого рода. (5 семестр);
26. 10.Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности и горизонтальной трубе. Ламинарное течение пленки конденсата(5 семестр);
27. 11.Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности. Смешанный режим течения пленки конденсата. Учет дополнительных факторов при расчете теплоотдачи при конденсации. (5 семестр);
28. 12.Основы расчета теплообменных аппаратов. Проектный и поверочный расчеты рекуперативных теплообменников. Метод среднелогарифмического температурного напора. (5 семестр);
29. 13.Применение  $\epsilon - NTU$  метода для проектного и поверочного расчета рекуперативных теплообменников, поинтервальный расчет теплообменника. (5 семестр);
30. 14.Теплогидравлический расчет теплообменников различных типов. (5 семестр);
31. 15.Концентрационная диффузия. Закон Фика. Расчет коэффициента массоотдачи и потока массы компонента на основе аналогии процессов тепло- и массообмена. (5 семестр);
32. 16.Тепло- и массообмен при испарении (и конденсации пара) в парогазовую среду. (5 семестр).

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. №1. Методы стационарной теплопроводности (4 семестр);
2. №2. Методы нестационарной теплопроводности (4 семестр);
3. №3 Исследование теплообмена излучением (4 семестр);
4. №4. Исследование теплообмена излучением. (4 семестр);
5. №1. Теплоотдача при вынужденной конвекции жидкости (5 семестр);
6. №2. Теплоотдача при свободной конвекции жидкости (5 семестр);
7. №3. Теплоотдача при кипении жидкости в большом объёме (5 семестр);
8. №4. Теплоотдача при конденсации водяного пара; Испытание рекуперативного теплообменника (5 семестр).

### **3.5 Консультации**

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "семестр №4"

2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "семестр №5"

### **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<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) |   | Оценочное средство (тип и наименование)  |
|---|------------------|---|---|--|
|   |                  | 1   | 2 |  |
| <b>Знать:</b>   |                  |   |   |  |
| законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (4) | ИД-3опк-4        | +   |   | Тестирование/Терминологический тест «Введение в теплообмен»  |
| калорические и переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (4)                                      | ИД-3опк-4        | +   |   | Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность»   |
| законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (4)   | ИД-3опк-4        | +   |   | Контрольная работа/Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки»<br>Творческая задача/Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» |
| законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты (5)   | ИД-3опк-4        |   | + | Контрольная работа/Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб»  |
| калорические и переносные свойства рабочих веществ теплоэнергетических и теплотехнологических установок и систем (5)                                      | ИД-3опк-4        |   | + | Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная конвекция»  |
| законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам (5) | ИД-3опк-4        |   | + | Тестирование/Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного теплообмена»  |
| <b>Уметь:</b>   |                  |   |   |  |
| рассчитывать процессы теплопереноса в элементах теплотехнического и   | ИД-3опк-4        | +   |   | Контрольная работа/Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация  |

|   |           |   |   |  |
|---|-----------|---|---|--|
| теплотехнологического оборудования (4)  |           |   |   | теплообмена (оробрение)»   |
| рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов теплообмена (4) | ИД-3ОПК-4 | + |   | Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение»   |
| рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов (4)   | ИД-3ОПК-4 | + |   | Творческая задача/Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение»  |
| рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов (5)   | ИД-3ОПК-4 |   | + | Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Свободная конвекция»  |
| рассчитывать температурные поля в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок с целью обеспечения эффективности процессов теплообмена (5) | ИД-3ОПК-4 |   | + | Отчет/Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты»<br>Творческая задача/Расчетное задание «Теплообмен в теплообменных аппаратах» |
| рассчитывать процессы переноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования (5)   | ИД-3ОПК-4 |   | + | Контрольная работа/Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении»   |

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

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

###### **4 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» (Творческая задача)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки» (Контрольная работа)
3. Терминологический тест «Введение в теплообмен» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» (Отчет)
2. Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» (Отчет)

###### **5 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчетное задание «Тепломассообмен в теплообменных аппаратах» (Творческая задача)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении» (Контрольная работа)
3. Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного тепломассообмена» (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная конвекция» (Отчет)
2. Защита цикла лабораторных работ «Свободная конвекция» (Отчет)
3. Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты» (Отчет)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №4)

Экзамен. Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих В приложение к диплому выносятся оценка за 5 семестр

Экзамен (Семестр №5)



Экзамен. Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих. В приложение к диплому выносятся оценки за 5 семестр. Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

**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 : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 562 с. - ISBN 978-5-383-00563-7 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4233);

2. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко . – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 196 с. - ISBN 978-5-383-00259-9 .;

3. Солодов, А. П. Тепломассообмен в энергетических установках. Инженерные методы расчета. Электронный курс : учебное пособие по курсам "Тепломассообмен", "Тепломассообмен в оборудовании АЭС" по направлениям "Ядерная энергетика и теплофизика", "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. П. Солодов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 124 с. - ISBN 978-5-7046-1636-8 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6989](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=6989);

4. Ягов, В. В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. В. Ягов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2014 . – 542 с. - ISBN 978-5-383-00854-6 .;

5. Теплотехника : учебник для вузов по направлению "Энергомашиностроение" / А. М. Архаров, и др. ; Ред. А. М. Архаров, В. Н. Афанасьев . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 . – 792 с. - ISBN 978-5-7038-3370-4 .;

6. 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.;

7. Практикум по теплопередаче : учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / Ред. А. П. Солодов . – М. : Энергоатомиздат, 1986 . – 296 с.;

8. Теплоэнергетика и теплотехника: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент : справочник / А. А. Александров, и др. ; Ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2001 . – 564 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника ; Кн.2) . - ISBN 5-7046-0512-5 .;

9. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1. : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987 . – 560 с.;

10. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : Справочник / А. А. Александров, Б. А. Григорьев . – М. : Изд-во МЭИ, 1999 . – 168 с. - ISBN 5-7046-0397-1 : 60.00 .;

11. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017 . – 226 с. - ISBN 978-5-383-01073-0 .;

12. 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;
2. Windows;
3. MathCad.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---------------|-------------------------------|-----------|
|               | отсутствует                   |           |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Тепломассообмен

(название дисциплины)

#### 4 семестр

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

- КМ-1 Терминологический тест «Введение в теплообмен» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа «Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки» (Контрольная работа)
- КМ-3 Защита цикла лабораторных работ «Теплопроводность» (Отчет)
- КМ-4 Контрольная работа «Внутренние источники. Интенсификация теплообмена (оребрение)» (Контрольная работа)
- КМ-5 Расчетное задание «Нестационарная теплопроводность и излучение» (Творческая задача)
- КМ-6 Защита цикла лабораторных работ «Тепловое излучение» (Отчет)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 8    | 9    | 12   | 15   | 16   |
| 1             | Теплопроводность и тепловое излучение (семестр №4)   |            |      |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология                 |            | +    | +    | +    | +    | +    | +    |
| 1.2           | Одномерные стационарные задачи теплопроводности  |            |      | +    | +    | +    | +    |      |
| 1.3           | Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности   |            |      |      | +    |      | +    |      |
| 1.4           | Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой                                     |            |      |      |      |      | +    | +    |
| 1.5           | Теплообмен излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств |            |      |      |      |      | +    | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 10   | 15   | 15   | 15   | 30   | 15   |

#### 5 семестр

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

- КМ-1 Терминологический тест «Система дифференциальных уравнений сохранения конвективного тепломассообмена» (Тестирование)
- КМ-2 Контрольная работа «Теплоотдача и сопротивление при вынужденном обтекании пластины, трубы, пучка труб» (Контрольная работа)
- КМ-3 Защита цикла лабораторных работ «Вынужденная конвекция» (Отчет)
- КМ-4 Контрольная работа «Теплоотдача при свободной конвекции и массообмен при испарении» (Контрольная работа)
- КМ-5 Защита цикла лабораторных работ «Свободная конвекция» (Отчет)

- КМ-6 Расчетное задание «Тепломассообмен в теплообменных аппаратах» (Творческая задача)  
 КМ-7 Защита цикла лабораторных работ «Теплообмен при кипении/конденсации. Теплообменные аппараты» (Отчет)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 8    | 9    | 12   | 14   | 15   | 16   |
| 1             | Конвективный тепломассообмен (семестр №5)                        |            |      |      |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Введение в конвективный теплообмен                               |            | +    | +    | +    |      |      |      |      |
| 1.2           | Внешняя задача конвективного теплообмена                         |            |      | +    | +    | +    | +    | +    | +    |
| 1.3           | Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах) |            |      |      | +    |      |      | +    | +    |
| 1.4           | Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя               |            |      |      |      |      |      | +    | +    |
| 1.5           | Теплообменные аппараты   |            |      |      |      |      |      | +    | +    |
| 1.6           | Основные понятия массообмена                                     |            |      |      |      | +    |      | +    | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 5    | 20   | 10   | 20   | 10   | 25   | 10   |