

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
(Орский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ)

Кафедра электроэнергетики и теплоэнергетики

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ДИСЦИПЛИНЫ**

*«Б1.Д.Б.19 Тепломассообмен»*

**Уровень высшего образования**  
Бакалавриат

**Направление подготовки**  
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**Профиль**  
Энергообеспечение предприятий

**Квалификация**  
Бакалавр

**Форма обучения**  
Заочная

**Год начала реализации программы**  
2021

г. Орск, 2021

## 1 Цели и задачи освоения дисциплины

**Цель** освоения дисциплины: изучения способов тепло- и массопереноса: теплопроводности, конвекции, излучения, диффузии, сложного теплообмена для расчёта и проектирования и управления энергетическими процессами, происходящими в тепломассообменном оборудовании теплоэнергетики.

### **Задачи:**

- изучить теплообменные свойства рабочих тел теплотехнических установок;
- изучить методы расчета и анализа свойств теплоносителей рабочих процессов и циклов теплотехнических установок с целью управления их энергетической эффективностью.

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к базовой части блока Д «Дисциплины (модули)».

Пререквизиты дисциплины: Б1.Д.Б.18 Техническая термодинамика, Б1.Д.Б.20 Гидрогазодинамика.

Постреквизиты дисциплины: Б1.Д.В.13 Тепломассообменное оборудование предприятий.

## 3 Требования к результатам обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих результатов обучения.

| Код и наименование формируемых компетенций                                                                                                                         | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                          | Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах | ОПК-4-В-3 Использует знание теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем<br>ОПК-4-В-6 Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы<br>ОПК-4-В-7 Применяет знания основ тепломассообмена в теплотехнических установках | <b><u>Знать:</u></b><br>основные физические понятия, смысл величин, единицы измерения явлений тепло- и массообмена: теплопроводности, конвекции, излучения, диффузии. температурного поля, градиента температуры, теплового потока, плотности теплового потока, вектора плотности теплового потока, коэффициента теплопроводности газов, жидкостей и твердых тел<br><b><u>Уметь:</u></b><br>решать типовые задачи тепломассообмена; в ходе теоретического и экспериментального исследований использовать методы математического описания, анализа и моделирования процессов тепломассооб- |

| Код и наименование формируемых компетенций | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            |                                                      | <p>мена, применять выводы теории Нуссельта, закон Фика, теорий подобия, фазового перехода</p> <p><b>Владеть:</b></p> <p>методиками тепломассообменных расчетов теплоэнергетических установок и оборудования: теплообмена и сопротивления при ламинарном течении в трубе, вязкостного и вязкостно-гравитационного режимов, теплообмена сжимаемого газа. теплообмена при сверхкритическом состоянии жидкостей</p> |

#### 4 Структура и содержание дисциплины

##### 4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 академических часов).

| Вид работы                                                                                               | Трудоемкость, академических часов |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
|                                                                                                          | 4 семестр                         | всего         |
| <b>Общая трудоёмкость</b>                                                                                | <b>216</b>                        | <b>216</b>    |
| <b>Контактная работа:</b>                                                                                | <b>17,25</b>                      | <b>17,25</b>  |
| Лекции (Л)                                                                                               | 8                                 | 8             |
| Практические занятия (ПЗ)                                                                                | 4                                 | 4             |
| Лабораторные работы (ЛР)                                                                                 | 4                                 | 4             |
| Консультации                                                                                             | 1                                 | 1             |
| Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)                                                                | 0,25                              | 0,25          |
| <b>Самостоятельная работа:</b>                                                                           | <b>198,75</b>                     | <b>198,75</b> |
| - выполнение контрольной работы;                                                                         | 36                                | 36            |
| - самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий; | 142,75                            | 142,75        |
| - подготовка к лабораторным занятиям;                                                                    | 10                                | 10            |
| - подготовка к практическим занятиям                                                                     | 10                                | 10            |
| <b>Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)</b>                                 | <b>экзамен</b>                    |               |

Разделы дисциплины, изучаемые в 4 семестре

| № раздела | Наименование разделов | Количество часов |                   |    |    |               |
|-----------|-----------------------|------------------|-------------------|----|----|---------------|
|           |                       | всего            | аудиторная работа |    |    | внеад. работа |
|           |                       |                  | Л                 | ПЗ | ЛР |               |
| 1         | Способы теплообмена   | 31               | 1                 |    |    | 30            |

|   |                                                                                                            |     |   |   |   |     |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|---|---|-----|
| 2 | Дифференциальное уравнение энергии (теплопроводности)                                                      | 32  | 1 |   | 1 | 30  |
| 3 | Массообмен. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена                                   | 44  | 2 | 1 | 1 | 40  |
| 4 | Теплообмен излучением. Сложный теплообмен                                                                  | 32  | 1 | 1 |   | 30  |
| 5 | Теплообмен при фазовых превращениях                                                                        | 33  | 1 | 1 | 1 | 30  |
| 6 | Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекание трубы и пучка труб | 44  | 2 | 1 | 1 | 40  |
|   | Итого                                                                                                      | 216 | 8 | 4 | 4 | 200 |
|   | Всего                                                                                                      | 216 | 8 | 4 | 4 | 200 |

## 4.2 Содержание разделов дисциплины

**Раздел 1. Способы теплообмена.** 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 (гипотеза) Фурье. Коэффициенты теплопроводности газов, жидкостей и твердых тел.

**Раздел 2. Дифференциальное уравнение энергии (теплопроводности).** Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности. Закон Ньютона-Рихмана. Перенос тепла в плоской стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр цилиндрической стенки. Критический диаметр тепловой изоляции. Граничные условия уравнения теплопроводности. Температурное поле при наличии в теле источников тепла (пластина, цилиндрический стержень).

**Раздел 3. Массообмен. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.** Диффузия. Поток массы компонента. Вектор плотности потока массы смеси. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Термо- и бародиффузия. Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности. Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по числу Прандтля. Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Рэлея, число Нуссельта. Теория подобия и размерности.

**Раздел 4. Теплообмен излучением. Сложный теплообмен.** Физическая природа, понятия и основные законы теплового излучения. Интегральный и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения. Классификация потоков излучения. Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами, двумя концентрическими сферами и двумя коаксиальными цилиндрами. Основы методов расчета теплообмена излучением от излучающей и поглощающей среды к поверхностям нагрева теплообменных устройств. Закон Бугера. Поглощательная способность и степень черноты среды (продуктов сгорания)

**Раздел 5. Теплообмен при фазовых превращениях.** Теплообмен при фазовых превращениях. Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Теория Нуссельта. Поправочные коэффициенты к теории Нуссельта по Лабунцову (на волновое течение и переменность физических свойств конденсата). Турбулентное течение пленки конденсата - расчет коэффициента теплоотдачи (формула Лабунцова). Теплообмен при конденсации пара в трубах. Теплообмен при кипении жидкостей. Кривая кипения. Пузырьковое и пленочное кипение.

**Раздел 6. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекание трубы и пучка труб.** Пограничный слой. Турбулентность. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля. Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. 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. Теплообмен сжимаемого газа. Теплообмен при сверхкритическом состоянии жидкостей.

### 4.3 Лабораторные работы

| № ЛР | № раздела | Наименование лабораторных работ                                                                                                                                       | Кол-во часов |
|------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1    | 2         | Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку                                                                                                  | 1            |
| 2    | 3         | Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около вертикального цилиндра в атмосфере различных газов методом имитационного моделирования процесса теплообмена | 1            |
| 3    | 5         | Исследование теплоотдачи при вынужденном движении воздуха в трубе методом имитационного моделирования процесса теплообмена                                            | 1            |
| 4    | 6         | Теплоотдача при свободном движении жидкости около тел (пластина, труба), находящихся в неограниченном объеме жидкости                                                 | 1            |
|      |           | Итого                                                                                                                                                                 | 4            |

### 4.4 Практические занятия (семинары)

| № занятия | № раздела | Тема                                                     | Кол-во часов |
|-----------|-----------|----------------------------------------------------------|--------------|
| 1         | 3         | Классификация теплоносителей по числу Прандтля           | 1            |
| 2         | 4         | Теплоотдача при течении жидких металлов                  | 1            |
| 3         | 5         | Свободная конвекция в ограниченном объеме (щели, зазоры) | 1            |
| 4         | 6         | Теплообмен при кипении жидкостей. Кривая кипения         | 1            |
|           |           | Итого                                                    | 4            |

### 4.5 Контрольная работа (4 семестр)

1. Теплопроводность при стационарных условиях
2. Определение параметров влажного воздуха
3. Исследование процесса истечения воздуха через суживающееся сопло
4. Теплообмен при конденсации паров
5. Теплоотдача вертикального цилиндра при естественной конвекции
6. Исследование процессов теплообмена на горизонтальном трубопроводе

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Основная литература

1. Тепломассообмен [Текст]: учебник для вузов по направлению «Теплоэнергетика» / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: МЭИ, 2011. – 562 с.: ил. – ISBN 978-5-383-00563-7.
2. Техническая термодинамика и тепломассообмен [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.С. Ануфриенко. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,82 МБ). – Орск: ОГТИ, 2011. [http://library.ogti.orsk.ru/local/metod/metod2012\\_11\\_08.pdf](http://library.ogti.orsk.ru/local/metod/metod2012_11_08.pdf).
3. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Цветков Ф.Ф. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – ISBN 978-5-383-01172-0.
4. Клименко А.В. Теплоэнергетика и теплотехника Кн. 4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / Клименко А.В. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. (Справочная серия "Теплоэнергетика и теплотехника") – ISBN 978-5-383-01171-3.

### 5.2 Дополнительная литература

1. Примеры и задачи по тепломассообмену [Текст]: учебное пособие для вузов / В.С. Логинов

- и др. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. – 256 с. – ISBN 978-5-8114-1132-0.
2. Теплотехника: учебник / под ред. В.Н. Луканина. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 671 с.
3. Физические основы тепломассообмена [Текст]: практикум / Д.А. Гюнтер. – Орск: Изд-во ОГТИ (филиал) ОГУ, 2013. – 90 с. – ISBN 978-5-8424-0684-5.
4. Тепломассообмен [Текст]: учебное пособие для вузов по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника» / А.А. Кудинов. – Москва: Инфра-М, 2012. – 375 с. – (Высшее образование) – ISBN 978-5-16-004729-4.

### **5.3 Периодические издания**

1. Промышленная энергетика.

### **5.4 Интернет-ресурсы**

#### **5.4.1 Современные профессиональные базы данных (в том числе международные реферативные базы данных научных изданий) и информационные справочные системы.**

1. Библиотека Гумер (<https://www.gumer.info/>). Доступ свободный.
2. Научная библиотека (<http://niv.ru/>). Доступ свободный.
3. eLIBRARY.RU ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)). Доступ свободный. Необходима индивидуальная регистрация в локальной сети вуза.
4. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru/>). Доступ свободный.
5. Infolio (<http://www.infoliolib.info/>). Университетская электронная библиотека.

#### **5.4.2 Тематические профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. Фундаментальная электронная библиотека (<https://www.teplota.org.ua/>)
2. Теплота, всё для теплоэнергетика (<https://www.teplota.org.ua/>)
3. Информационный портал РосТепло.ру (<https://www.rosteplo.ru/>). Всё о теплоснабжении в России.
4. Ассоциация инженеров АВОК (<https://www.abok.ru/>)
5. Справочник теплоэнергетика (<https://www.c-o-k.ru/library/document/13100>)
6. Энергетический интернет-портал (<https://rusenergetics.ru/avtomatika/askue>)

#### **5.4.3 Электронные библиотечные системы**

1. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» (<http://www.biblioclub.ru/>). После регистрации доступ возможен из любой точки сети Интернет.
2. ЭБС «Лань» (<http://e.lanbook.com/>). После регистрации доступ возможен из любой точки сети Интернет.

#### **5.4.4 Дополнительные Интернет-ресурсы**

1. Диполь, профессиональный разработчик электронных курсов (<https://www.tacis-dipol.ru/presentations/>)
2. Задачи по тепломассообмену (<https://vse-zadachi.ru/teplomassoobmen>)
3. Решение задач на теплообмен с использованием уравнения теплового баланса (<https://planetcalc.ru/7129/>)

## 5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Тип программного обеспечения                                       | Наименование         | Схема лицензирования, режим доступа                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Операционная система                                               | Microsoft Windows    | Подписка Open Value Subscription – Education Solutions (OVS-ES) по договору № 3В/20 от 01.06.2020 г.                        |
| Офисный пакет                                                      | Microsoft Office     |                                                                                                                             |
| Интернет-браузер                                                   | Яндекс.Браузер       | Бесплатное ПО,<br><a href="https://yandex.ru/legal/browser_agreement/">https://yandex.ru/legal/browser_agreement/</a>       |
|                                                                    | Google Chrome        | Бесплатное ПО,<br><a href="http://www.google.com/intl/ru/policies/terms/">http://www.google.com/intl/ru/policies/terms/</a> |
| Мультимедийный плеер                                               | Windows Media Player | Является компонентом операционной системы Microsoft Windows                                                                 |
| Пакет программ для проведения тестирования                         | ADTester             | Бесплатное ПО,<br><a href="http://www.adtester.org/help/info/license/">http://www.adtester.org/help/info/license/</a>       |
| Просмотр и печать файлов в формате PDF                             | Adobe Reader         | Бесплатное ПО,<br><a href="http://www.adobe.com/ru/legal/terms.html">http://www.adobe.com/ru/legal/terms.html</a>           |
| Векторный графический редактор, редактор диаграмм и блок-схем      | КОМПАС-3D            | Лицензия по государственному контракту № 20/11 от 07.06.2011 г., сетевой конкурентный доступ                                |
| Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений | MATLAB               | Образовательная лицензия по государственному контракту № 20/10 от 29.06.2010 г., сетевой конкурентный доступ                |

## 6 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практических работ, для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. В аудитории имеется персональный компьютер с установленным лицензионным программным обеспечением и мультимедийное оборудование (проектор, экран, звуковые колонки). Данное оборудование активно используется при проведении лекционных занятий.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключенной к сети «Интернет», и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ОГУ.

Для проведения лабораторных занятий предназначены лаборатории кафедры электроэнергетики и теплоэнергетики.

Все перечисленные аудитории оснащены комплектами ученической мебели, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.