ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I»

(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Теплотехника и теплосиловые установки»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

*дисциплины*

«ТЕПЛОМАССООБМЕН»

(Б1.Б.19)

для направления

13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

по профилю

«Промышленная теплоэнергетика»

Форма обучения – очная, заочная

Санкт-Петербург

2018



**1. Цели и задачи дисциплины**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО, утверждённым «1» октября 2015г., приказ Минобрнауки России № 1081 по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль подготовки «Промышленная теплоэнергетика» по дисциплине «Тепломассообмен».

Целью изучения дисциплины является формирование компетенций, указанных в разделе 2 рабочей программы.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- приобретение знаний, указанных в разделе 2 рабочей программы;

- приобретение умений, указанных в разделе 2 рабочей программы;

- приобретение навыков, указанных в разделе 2 рабочей программы.

1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**ЗНАТЬ:**

* Методы расчета краевых задач теории теплопроводности; теорию подобия тепловых процессов; основные расчетные зависимости для задач конвективного теплообмена, массопереноса и теплообмена излучением.

**УМЕТЬ:**

* использовать справочную и нормативную литературу, диаграммы и таблицы теплофизических характеристик жидкостей и материалов.
* производить теплотехнические и расчеты нагнетателей и двигателей внутреннего сгорания по типовым методикам;

**ВЛАДЕТЬ:**

* методами расчета с помощью вычислительной техники любых процессов, связанных с переносом тепловой энергии и массообменом;
* способами оценки погрешности выполненных расчетов численными методами.

Приобретённые знания, умения и навыки, характеризующие формирование компетенций, осваиваемые в данной дисциплине, позволяют решать профессиональные задачи, приведённые в соответствующем перечне по видам профессиональной деятельности в п. 2.4 общей характеристики основной профессиональной образовательной программы (ОПОП).

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих **общепрофессиональных компетенций (ОПК**):

- способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК - 1);

 Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих **профессиональных компетенций (ПК**) соответствующих виду профессиональной деятельности, на который ориентирована программа бакалавриата:

**расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:**

- способность участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией (ПК-1);

- способность проводить расчеты по типовым методикам, проектировать технологическое оборудование с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием (ПК-2);

- способность участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок энергообъектов и их элементов по стандартным методикам (ПК-3);

**научно-исследовательская деятельность:**

- способность к проведению экспериментов по заданной методике, обработке и анализу полученных результатов с привлечением соответствующего математического аппарата (ПК-4);

**производственно-технологическая деятельность:**

- готовность к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования (ПК-8);

- готовность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов (ПК-10);

**монтажно-наладочная деятельность:**

- готовность участвовать в типовых, плановых испытаниях и ремонтах технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работах (ПК-11).

Область профессиональной деятельности обучающихся, освоивших данную дисциплину, приведена в п. 2.1 общей характеристики ОПОП.

Объекты профессиональной деятельности обучающихся, освоивших данную дисциплину, приведены в п. 2.2 общей характеристики ОПОП.

**3. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы**

Дисциплина «ТЕПЛОМАССООБМЕН» (Б1.Б.19) относится к базовой части программы подготовки и является обязательной.

**4. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Для очной формы обучения:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид учебной работы | Всего часов | Семестр | Семестр |
| 3 | 4 |
| Контактная работа (по видам учебных занятий) | 96 | 48 | 48 |
| В том числе: |  |  |  |
|         лекции (Л) | 32 | 16 | 16 |
|         практические занятия (ПЗ) | 32 | 16 | 16 |
|         лабораторные работы (ЛР) | 32 | 16 | 16 |
| Самостоятельная работа (СРС) (всего) | 102 | 51 | 51 |
| Контроль  | 90 | 45 | 45 |
| Форма контроля знаний |  | Э | Э + КР |
| Общая трудоёмкость: час / з.е. | 288/8 | 144/4 | 144/4 |

Примечание: форма контроля знаний в третьем семестре – экзамен (Э), в четвертом семестре экзамен (Э) + курсовая работа (КР).

Для заочной формы обучения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Вид учебной работы** | **Всего часов** | **Курс** |
| **3** |
| Контактная работа (по видам учебных занятий) | 30 | 30 |
|  В том числе: |  |  |
| * лекции (Л)
 | 10 | 10 |
| * практические занятия (ПЗ)
 | 10 | 10 |
| * лабораторные работы (ЛР)
 | 10 | 10 |
| Самостоятельная работа (СРС) (всего) | 249 | 249 |
| Контроль | 9 | 9 |
| Форма контроля знаний | Э + КР | Э + КР |
| Общая трудоемкость: час / з.е. | 288/8 | 288/8 |

Примечание: форма контроля знаний - экзамен (Э) + курсовая работа (КР).

**5. Содержание и структура дисциплины**

5.1 Содержание дисциплины

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование раздела дисциплины** | **Содержание раздела** |
| Семестр 3 |
| 1 | Введение. Виды теплообмена. Основные положения теории теплопроводности. | Виды теплообмена. Основные положения теории теплопроводности. Температурное поле. Температурный градиент. Закон Фурье. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Нестационарные процессы. |
| 2 | Дифференциальные уравнения теплопроводности. Условия однозначности. Методы решения задач теплопроводности. | Дифференциальные уравнения теории теплопроводности. Уравнения Фурье, Лапласа, Пуассона. Начальные и граничные условия в задачах теплопроводности. Постановка краевых задач. Аналитический, графический и численный методы решения задач. Оценка погрешности приближенного решения. |
| 3 | Теплофизические характеристики материалов и методы их определения. | Теплофизические характеристики материалов: теплопроводность, температуропроводность, удельная теплоемкость. Метод регулярного теплового режима и его использование для определения теплофизических характеристик материалов. Теплоизоляционные материалы. Теплопроводность металлов, газов и жидкостей. |
| 4 | Конвективный теплообмен. Основные понятия. Краевая задача теплообмена. | Основные понятия конвективного теплообмена. Режимы течения жидкостей. Пограничный слой. Краевая задача конвективного теплообмена. Методы решения краевых задач. Сопряженные задачи. |
| 5 | Теория подобия в задачах конвективного теплообмена. Критерии подобия. | Теория подобия тепловых процессов в задачах конвективного теплообмена. Получение критериальных уравнений теоремы подобия. Основные критерии подобия и их физический смысл. |
| 6 | Отдельные случаи конвективного теплообмена. | Конвективный теплообмен при движении жидкости в трубах при ламинарном и турбулентном течении. Поперечное обтекание одиночной трубы и пучка труб. Теплоотдача при естественной конвекции. |
| Семестр 4 |
| 7 | Теплообмен при фазовых превращениях вещества. Теплообмен при конденсации пара. | Теплообмен при кипении жидкостей. Кривая кипения. Критические плотности тепловых потоков при кипении. Основные расчетные формулы. Теплообмен при конденсации пара. Капельная и пленочная конденсации. Течение пленки конденсата на вертикальной стенке. Конденсация пара на пучках труб |
| 8 | Теплообмен излучением. Основные законы теплового излучения. | Теплообмен излучением. Основные законы теплового излучения и определения. Основные законы теплового излучения. Излучательная и поглощательная способности тел. Теплообмен между твердыми телами. Теплообмен при наличии экранов. |
| 9 | Излучение и поглощение энергии газами. | Спектр излучения и поглощения энергии газами. Зависимости коэффициента теплового излучения газов от температуры. Плотность потока излучения газа к окружающим его поверхностям. Средняя длина лучей для газовых тел различной формы. |
| 10 | Сложный теплообмен. Теплопередача. | Сложный теплообмен в теплоэнергетических установках. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки. Ребристая стенка. Виды оребрения. Расчет теплопередачи через ребристую стенку. Приведенный коэффициент теплопередачи. |
| 11 | Тепловая изоляция. Критический диаметр изоляции. | Расчет толщины тепловой изоляции. Особенности изоляции трубопроводов. Критический диаметр изоляции и метод его расчета. Полное термическое сопротивление трубы с теплоизоляцией.  |
| 12 | Основы массообмена. | Основы массообмена. Молекулярная и конвективная диффузия вещества. Закон Фика. Градиент концентрации вещества. Конвективная массоотдача. Диффузионный пограничный слой. Диффузионный критерий Прандтля. Расчет испарения воды при движении над ее поверхностью воздуха. |

5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

Для очной формы обучения:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Л | ПЗ | ЛР | СРС |
| **3 семестр** |
| 1 | Введение. Виды теплообмена. Основные положения теории теплопроводности. | 2 | 2 | 2 | 6 |
| 2 | Дифференциальные уравнения теплопроводности. Условия однозначности. Методы решения задач теплопроводности. | 2 | 3 | 2 | 9 |
| 3 | Теплофизические характеристики материалов и методы их определения. | 3 | 2 | 4 | 6 |
| 4 | Конвективный теплообмен. Основные понятия. Краевая задача теплообмена. | 3 | 3 | 4 | 10 |
| 5 | Теория подобия в задачах конвективного теплообмена. Критерии подобия. | 3 | 3 |  | 10 |
| 6 | Отдельные случаи конвективного теплообмена. | 3 | 3 | 4 | 10 |
| **4 семестр** |
| 7 | Теплообмен при фазовых превращениях вещества. Теплообмен при конденсации пара. | 4 | 4 | 2 | 10 |
| 8 | Теплообмен излучением. Основные законы теплового излучения. | 2 | 2 | 4 | 6 |
| 9 | Излучение и поглощение энергии газами. | 2 | 2 | 4 | 8 |
| 10 | Сложный теплообмен. Теплопередача. | 4 | 4 | 4 | 8 |
| 11 | Тепловая изоляция. Критический диаметр изоляции. | 2 | 2 | 2 | 6 |
| 12 | Основы массообмена. | 2 | 2 |   | 13 |

Для заочной формы обучения:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Л | ПЗ | ЛР | СРС |
| 1 | Введение. Виды теплообмена. Основные положения теории теплопроводности. | 1 | 1 | 1 | 20 |
| 2 | Дифференциальные уравнения теплопроводности. Условия однозначности. Методы решения задач теплопроводности. | 1 | 1 | 1 | 30 |
| 3 | Теплофизические характеристики материалов и методы их определения. | 0,5 | 0,5 | 1 | 12 |
| 4 | Конвективный теплообмен. Основные понятия. Краевая задача теплообмена. | 1 | 1 | 1 | 30 |
| 5 | Теория подобия в задачах конвективного теплообмена. Критерии подобия. | 1 | 1 |   | 30 |
| 6 | Отдельные случаи конвективного теплообмена. | 0,5 | 0,5 | 1 | 20 |
| 7 | Теплообмен при фазовых превращениях вещества. Теплообмен при конденсации пара. | 1 | 1 | 1 | 30 |
| 8 | Теплообмен излучением. Основные законы теплового излучения. | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 9 | Излучение и поглощение энергии газами. | 1 | 1 | 1 | 16 |
| 10 | Сложный теплообмен. Теплопередача. | 0,5 | 0,5 | 1 | 16 |
| 11 | Тепловая изоляция. Критический диаметр изоляции. | 0,5 | 0,5 | 1 | 14 |
| 12 | Основы массообмена. | 1 | 1 |   | 21 |

**6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№****п/п** | **Наименование раздела** | **Перечень учебно-методического обеспечения** |
| 1 | Введение. Виды теплообмена. Основные положения теории теплопроводности. | 1. Б1.Б.19. «ТЕПЛОМАССООБМЕН» Методические рекомендации для лабораторных занятий по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Промышленная теплоэнергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.pgups.ru/ (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
2. Б1.Б.19. «ТЕПЛОМАССООБМЕН» Методические рекомендации для практических занятий по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Промышленная теплоэнергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.pgups.ru/ (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
3. Б1.Б.19. «ТЕПЛОМАССОБМЕН» Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Промышленная теплоэнергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.pgups.ru/ (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
 |
| 2 | Дифференциальные уравнения теплопроводности. Условия однозначности. Методы решения задач теплопроводности. |
| 3 | Теплофизические характеристики материалов и методы их определения. |
| 4 | Конвективный теплообмен. Основные понятия. Краевая задача теплообмена. |
| 5 | Теория подобия в задачах конвективного теплообмена. Критерии подобия. |
| 6 | Отдельные случаи конвективного теплообмена. |
| 7 | Теплообмен при фазовых превращениях вещества. Теплообмен при конденсации пара. |
| 8 | Теплообмен излучением. Основные законы теплового излучения. |
| 9 | Излучение и поглощение энергии газами. |
| 10 | Сложный теплообмен. Теплопередача. |
| 11 | Тепловая изоляция. Критический диаметр изоляции. |
| 12 | Основы массообмена. |

**7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств по дисциплине «Тепломассообмен» является неотъемлемой частью рабочей программы и представлен отдельным документом, рассмотренным на заседании кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» и утверждённым заведующим кафедрой.

**8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, нормативно-правовой документации и других изданий, необходимых для освоения дисциплины**

Все обучающиеся имеют доступ к электронным учебно-методическим комплексам (ЭУМК) по изучаемой дисциплине согласно персональным логинам и паролям.

Каждый обучающийся обеспечен доступом к электронно-библиотечной системе (ЭБС) через сайт Научно-технической библиотеки Университета http://library.pgups.ru/, содержащей основные издания по изучаемой дисциплине.

ЭБС обеспечивает возможность индивидуального доступа для каждого обучающегося из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет.

8.1 Перечень основной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Киселев И.Г.. Теплотехника на подвижном составе железных дорог. Учебное пособие.- М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008г. – 278с.

8.2 Перечень дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Карминский В.Д. Техническая термодинамика и теплопередача. – Учебник для вузов.- М.: Маршрут, 2005 г. – 224с.
2. Луканин В.Н. и др. Теплотехника. учеб. для вузов. –М.: Высшая школа. – 2010. – 671 с.
	1. Перечень нормативно-правовой документации, необходимой для освоения дисциплины

Не предусмотрено.

* 1. Другие издания, необходимые для освоения дисциплины
1. Б1.Б.19. «ТЕПЛОМАССООБМЕН» Методические рекомендации для лабораторных занятий по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Промышленная теплоэнергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.pgups.ru/ (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
2. Б1.Б.19. «ТЕПЛОМАССООБМЕН» Методические рекомендации для практических занятий по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Промышленная теплоэнергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.pgups.ru/ (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
3. Б1.Б.19. «ТЕПЛОМАССОБМЕН» Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиль «Промышленная теплоэнергетика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.pgups.ru/ (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
4. Киселев И.Г., Кудрин М.Ю., Краснов А.С.. Тепломассообмен. Методические указания. – ПГУПС, 2011г.- 46 с.
5. Цветков, Ф.Ф. Тепломассообмен. : учеб. пособие для вузов/ Ф.Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – М. : МЭИ, 2006. – 550 с.

**9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Личный кабинет обучающегося и электронная информационно-образовательная среда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.pgups.ru/ (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).
2. Электронная библиотека НЕБ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru> – свободный – Загл. с экрана;
3. Основные проблемы в теплоснабжении [электронный ресурс]: http://www.newenergetika.narod.ru/probl\_teplo.html [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный – Загл. с экрана;
4. Профессиональные справочные системы Техэксперт – электронный фонд правовой и нормативно – технической документации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cntd.ru/>, свободный – Загл. с экрана;
5. Электронно – библиотечная система ЛАНЬ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://e.lanbook.com>. Загл. с экрана.

**10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Порядок изучения дисциплины следующий:

1. Освоение разделов дисциплины производится в порядке, приведённом в разделе 5 «Содержание и структура дисциплины». Обучающийся должен освоить все разделы дисциплины с помощью учебно-методического обеспечения, приведённого в разделах 6, 8 и 9 рабочей программы.
2. Для формирования компетенций обучающийся должен представить выполненные типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, предусмотренные текущим контролем (см. фонд оценочных средств по дисциплине).
3. По итогам текущего контроля по дисциплине, обучающийся должен пройти промежуточную аттестацию (см. фонд оценочных средств по дисциплине).

**11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине «Тепломассообмен» используются следующие информационные технологии:

* технические средства (компьютер/ноутбук, проектор);
* методы обучения с использованием информационных технологий (демонстрация мультимедийных материалов);
* электронная информационно – образовательная среда Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://sdo.pgups.ru. (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).

Дисциплина обеспечена необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения, установленного на технических средствах, размещенных в специальных помещениях и помещениях для самостоятельной работы в соответствии с утвержденными расписаниями учебных занятий, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы.

**12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

 Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и соответствует действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

Она содержит специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, выполнения курсовых проектов Используются учебные аудитории, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. В качестве технических средств обучения выступает демонстрационное оборудование. Как правило, для занятий данного типа используются учебные аудитории 6-202, 6-110, 6-108;

- для проведения лабораторных работ используется компьютерный класс (ауд. 6-110) и аудитория 6-202;

- групповые и индивидуальные консультаций, текущий контроль и промежуточная аттестация могут проводиться в аудиториях 6-108, 6-110, 6-202, укомплектованных специализированной мебелью;

- для самостоятельной работы обучающихся используются помещения, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации. Для самостоятельной работы студентов могут использоваться помещения библиотеки Университета, в том числе компьютерный класс в аудитории 6-314.



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Разработчики программы,профессор |  | И.Г. Киселев |
|  |  |  |
| доцент | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | М.Ю. Кудрин |
| «\_24\_\_» \_\_\_\_04\_\_\_\_ 2018 г. |  |  |