

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.ДВ.01.01** Спец главы тепломассообмена

Учебный план: ФГОС3++zm130401-1\_19-13.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Тепломассообменные процессы и установки  
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) |     | Контактная работа обучающихся |                   | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоёмкость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |
|---------------------------|-----|-------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------------|--------------------------------------|
|                           |     | Лекции                        | Практ.<br>занятия |                |                   |                      |                                      |
| 2                         | УП  | 6                             | 6                 | 56             | 4                 | 2                    | Зачет                                |
|                           | РПД | 6                             | 6                 | 56             | 4                 | 2                    |                                      |
| Итого                     | УП  | 6                             | 6                 | 56             | 4                 | 2                    |                                      |
|                           | РПД | 6                             | 6                 | 56             | 4                 | 2                    |                                      |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 146

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Суслов В.А.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Смородин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Смородин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** - в передаче студентам объема знаний о передаче теплоты и массы, обеспечивающих восприятие учебных курсов в соответствии с направлением «Теплоэнергетика и теплотехника»;  
- обучению студентов квалифицированно проводить расчеты задач конвективного теплообмена, теплообмена при фазовых и химических превращениях;  
- в использовании фактического научно-технического материала курса для непрерывной мировоззренческой и методологической подготовки студентов.

### 1.2 Задачи дисциплины:

Приобретение и творческое усвоение студентами вопросов теплообмена при фазовых и химических превращениях:

- теплообмен при конденсации пара;
- теплообмен при кипении жидкостей и растворов;
- тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Энергетические установки высокой эффективности в производстве электрической и тепловой энергии

Тепломассообменное оборудование ТЭС и АЭС

Математическое моделирование рабочих процессов в теплоэнергетических установках

Тепломассообменные процессы сушки и сушильные установки

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПКп-5.1: Способен к проведению технических расчетов, технико-экономического и стоимостного анализа проектных решений тепломассообменных процессов и установок</b>                                                                                                                                                                |
| <b>Знать:</b> методики выполнения специальных расчетов применительно к объектам профессиональной деятельности, конструкции и основные технические показатели оборудования                                                                                                                                                           |
| <b>Уметь:</b> читать технологическую и конструкторскую документацию, схемы и чертежи оборудования; применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации оборудования объектов профессиональной деятельности; выполнять необходимые расчеты без использования персонального компьютера |
| <b>Владеть:</b> навыками выполнения специальных расчетов по типовым методикам применительно к объектам профессиональной деятельности, навыками работы с технической документацией                                                                                                                                                   |

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                            | Семестр<br>(курс для ЗАО) | Контактная работа |               | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------|--------------|------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                           | Лек.<br>(часы)    | Пр.<br>(часы) |              |                              |
| Раздел 1. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2                         |                   |               |              |                              |
| Тема 1. Основные понятия и определения при кипении жидкости в большом объеме: режимы кипения; диаграммы кипения; параметры, характеризующие кипение.                                                                                                                                                                                 |                           | 0,5               | 0,5           | 5            | ИЛ                           |
| Тема 2. Кипение на погруженных поверхностях: кипение на одиночных трубах; пучках труб; пористых поверхностях. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении жидкости. Структура потока при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости в условиях свободного движения |                           | 0,5               | 0,5           | 5            | ИЛ                           |
| Тема 3. Критические тепловые потоки при кипении в большом объеме: гидродинамическая модель кризиса кипения, расчетные зависимости. Критические тепловые нагрузки при кипении в большом объеме                                                                                                                                        |                           | 0,5               | 0,5           | 5            | ИЛ                           |
| Раздел 2. Теплообмен при кипении жидкости в трубах и каналах                                                                                                                                                                                                                                                                         |                           |                   |               |              |                              |
| Тема 4. Основные параметры двухфазного потока при кипении в каналах: приведенные скорости, скорость циркуляции, массовое, объемное и истинное паросодержания двухфазного потока.                                                                                                                                                     |                           | 0,5               | 0,5           | 5            | ИЛ                           |
| Тема 5. Режимы течения двухфазного потока растворов и теплообмен в них: однофазная жидкость; пузырьковое кипение, пенное кипение, дисперсно-кольцевое кипение; режим ухудшенной теплоотдачи, расчетные уравнения теплоотдачи.                                                                                                        |                           | 1,5               | 1,5           | 3            | ИЛ                           |

|                                                                                                                                                                                                                                                   |  |      |      |   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------|------|---|----|
| Тема 6. Кипение нисходящего потока в вертикальных трубах: режимы кипения; основные параметры двухфазного потока; уравнения теплоотдачи. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб при восходящем течении потока. |  | 0,5  | 0,5  | 5 | ИЛ |
| Тема 7. Кризисы кипения жидкости в трубах: виды кризисов и условия их возникновения. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб при гравитационном течении потока                                                 |  | 0,5  | 0,5  | 5 | ИЛ |
| Раздел 3. Конденсация парогазовых смесей                                                                                                                                                                                                          |  |      |      |   |    |
| Тема 8. Термические сопротивления при конденсации парогазовых смесей: диффузионное, фазовое и пленки конденсата. Основные положения. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара.                                                      |  | 0,25 | 0,25 | 5 | ИЛ |
| Тема 9. Конденсация на вертикальной поверхности: режимы течения конденсатной пленки и расчетные уравнения для этих режимов. Расчетные критериальные и параметрические уравнения для коэффициента теплоотдачи.                                     |  | 0,25 | 0,25 | 3 | ИЛ |
| Тема 10. Конденсация на горизонтальных трубах: одиночные трубы и пучки труб; расчетные зависимости. Диффузионное термическое сопротивление. Теплоотдача при конденсации пара на пучках горизонтальных труб.                                       |  | 0,5  | 0,5  | 5 | ИЛ |
| Тема 11. Теплообмен при пленочной конденсации пара внутри труб: режимы течения пленки конденсата; уравнения теплоотдачи. Спутное течение и противоток в вертикальных трубах. Режимы течения парожидкостной смеси в горизонтальных трубах          |  | 0,25 | 0,25 | 5 | ИЛ |
| Тема 12. Капельная конденсация: условия возникновения; основные параметры теплообмена; расчетные уравнения. Теплоотдача при капельной конденсации пара.                                                                                           |  | 0,25 | 0,25 | 5 | ИЛ |

|                                                   |  |       |   |    |  |
|---------------------------------------------------|--|-------|---|----|--|
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)               |  | 6     | 6 | 56 |  |
| Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)   |  | 0,25  |   |    |  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b> |  | 12,25 |   | 56 |  |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

#### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Наименование оценочного средства                                    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ПКп-5.1         | <p>Демонстрирует знания законов и основных физико-математических моделей переноса теплоты и массы применительно к современным методам исследования и оценки работы теплотехнических и теплотехнологических установок и систем;</p> <p>проблем реконструкции и модернизации электроэнергетического оборудования объектов и сооружений теплоэнергетики;</p> <p>Способен планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы; применять современные методы исследования;</p> <p>рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок;</p> <p>рассчитывать передаваемые тепловые потоки с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты.</p> <p>Демонстрирует навыки владения основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования;</p> <p>методиками испытаний технологического оборудования в соответствии с профилем работы; представлением результатов научных исследований в виде отчетов, рефератов, научных публикаций и на публичных обсуждениях;.</p> | Вопросы для устного собеседования, практико-ориентированное задание |

##### 5.1.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания | Критерии оценивания сформированности компетенций                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Устное собеседование                                                                                                                                                                                                                                                                       | Письменная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Зачтено          | Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу. Задача решена верно                                                                                                  | Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией. |
| Не зачтено       | Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины, плохо ориентируется в основных понятиях и определениях, плохо знаком с основной литературой, допускает при ответе на зачете существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. Задача не решена. | Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать формулы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. Представление чужой работы, отказ от выполнения задания                                                                                                                       |

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

| № п/п  | Формулировки вопросов                                                                                        |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Курс 2 |                                                                                                              |
| 1      | Режимы течения и теплоотдача при кипении восходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах. |
| 2      | Основные параметры нисходящего двухфазного потока.                                                           |
| 3      | Обобщённые переменные при кипении нисходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах.        |
| 4      | Режимы течения при нисходящем двухфазном потоке в вертикальных трубах.                                       |
| 5      | Теплоотдача при кипении нисходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах.                  |
| 6      | Кризисы теплоотдачи при кипении в трубах.                                                                    |
| 7      | Влияние концентрации раствора на интенсивность кипения.                                                      |
| 8      | Диффузионное термическое сопротивление при конденсации парогазовой смеси.                                    |
| 9      | Фазовое термическое сопротивление при конденсации парогазовой смеси.                                         |
| 10     | Термическое сопротивление конденсатной пленки при конденсации парогазовой смеси.                             |
| 11     | Зависимость коэффициента теплоотдачи при ламинарно текущей пленке конденсата                                 |
| 12     | Зависимость коэффициента теплоотдачи при турбулентно текущей пленке конденсата.                              |
| 13     | Зависимость коэффициента теплоотдачи при смешенном режиме текущей пленке конденсата.                         |
| 14     | Конденсация пара на горизонтальных пучках труб.                                                              |
| 15     | Теплообмен при конденсации движущегося пара внутри труб и ламинарно текущей пленке.                          |
| 16     | Теплообмен при конденсации движущегося пара внутри труб и турбулентно текущей пленке.                        |
| 17     | Капельная конденсация.                                                                                       |
| 18     | Основы теплового расчета парожидкостного испарителя                                                          |
| 19     | Зависимость коэффициента теплоотдачи от тепловой нагрузки и скорости циркуляции.                             |
| 20     | Теплообмен при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме.                                                |
| 21     | Кривые кипения $\alpha = f(q)$ ; $q = f(\Delta T)$                                                           |
| 22     | Локальные характеристики процесса парообразования при кипении в большом объеме.                              |
| 23     | Обобщённые переменные при кипении в большом объеме.                                                          |
| 24     | Обобщенные эмпирические зависимости для расчета теплоотдачи при кипении в большом объеме                     |
| 25     | Кипение на поверхностях с пористыми покрытиями.                                                              |
| 26     | Теплоотдача при кипении жидкости в пучках из гладких труб                                                    |
| 27     | Теплоотдача при кипении жидкости в пучках из оребренных труб.                                                |
| 28     | Гидродинамическая модель кризиса кипения в большом объеме.                                                   |
| 29     | Основные расходные параметры двухфазного потока.                                                             |
| 30     | Основные истинные параметры двухфазного потока.                                                              |
| 31     | Обобщённые переменные при кипении восходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах.        |
| 32     | Режимы течения адиабатного двухфазного потока.                                                               |

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Рассчитать коэффициент теплоотдачи при конденсации неподвижного насыщенного пара при давлении  $3 \cdot 10^{-5}$  Па на вертикальной стенке, длиной 3 м и температурой 80 °С.

Найти коэффициент теплоотдачи при кипении воды на трубке испарителя с плотностью теплового потока  $q = 2$  кВт/м<sup>2</sup>, если вода находится при температуре насыщения с давлением  $3 \cdot 10^{-5}$  Па. Наружный диаметр трубки 33 мм

### 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

#### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

#### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☒ Письменная ☒ Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

#### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Время на подготовку 40 мин, в это время входит подготовка ответа на теоретические вопросы и решение задачи.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

| Автор                                          | Заглавие                                       | Издательство                                                                                | Год издания | Ссылка                                                                                                    |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>6.1.1 Основная учебная литература</b>       |                                                |                                                                                             |             |                                                                                                           |
| В.А. Сулов                                     | Тепломассообмен [Текст]. Ч.2.: учебное пособие | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД                           | 2017        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/20.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/20.pdf</a>     |
| В.А. Сулов                                     | Тепломассообмен [Текст]. Ч.1.: учебное пособие | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД                           | 2016        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/19.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/19.pdf</a>     |
| В.А. Сулов                                     | Тепломассообмен [Текст]: учебное пособие       | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП                                     | 2008        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/teplomassoobmen.htm">http://www.nizrp.narod.ru/teplomassoobmen.htm</a> |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |                                                |                                                                                             |             |                                                                                                           |
| Губарева В. В., Губарев А. В.                  | Тепломассообменное оборудование предприятий    | Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ | 2016        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/80447.html">http://www.iprbookshop.ru/80447.html</a>                   |
| Губарев В. Я., Арзамасцев А. Г.                | Тепломассообмен                                | Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ                           | 2014        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/55162.html">http://www.iprbookshop.ru/55162.html</a>                   |

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>  
Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

Microsoft: Windows Professional 10 Russian Upgrade OLPNL AcademicEdition

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

| Аудитория | Оснащение |
|-----------|-----------|
|-----------|-----------|

|                      |                                                               |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Лекционная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска |
| Учебная аудитория    | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска |