

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и  
дизайна»  
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.ДВ.03.01** Специальные вопросы тепломассообмена в теплотехнологических процессах

Учебный план: ФГОС3++b130301Ц-1\_22-14.plx

Кафедра: 24 Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:  
(специализация) Цифровые энергосистемы и комплексы

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) | Контактная работа обучающихся |                   | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоё<br>мкость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                           | Лекции                        | Практ.<br>занятия |                |                   |                          |                                      |
| 7                         | УП                            | 34                | 17             | 56,75             | 0,25                     | Зачет                                |
|                           | РПД                           | 34                | 17             | 56,75             | 0,25                     |                                      |
| Итого                     | УП                            | 34                | 17             | 56,75             | 0,25                     |                                      |
|                           | РПД                           | 34                | 17             | 56,75             | 0,25                     |                                      |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 143

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Суслов В.А.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Сморозин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области:

- знаний о передаче теплоты и массы, обеспечивающих восприятие последующих учебных курсов в соответствии с уровнем образования «бакалавриат»;
- квалифицированного проведения элементарных расчетов задач теплообмена при фазовых и химических превращениях и теплогидравлики;
- использования фактического научно-технического материала курса для непрерывной мировоззренческой и методологической подготовки студентов.

**1.2 Задачи дисциплины:**

Приобретение и творческое усвоение студентами научно-теоретических и инженерно-практических вопросов в области:

- теплообмена при фазовых и химических превращениях;
- массообмена;
- теплообменных аппаратов.

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

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

Тепломассообмен

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| <b>ПК-5.2: Способен выполнять специальные расчеты теплотехнологических процессов по типовым методикам</b>   |
|---|
| <b>Знать:</b> законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы; теплотехническое и теплотехнологическое оборудование, его эксплуатационные характеристики; показатели оценки работы теплотехнических и теплотехнологических установок и систем.  |
| <b>Уметь:</b> рассчитывать температурные поля в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок; рассчитывать передаваемые тепловые потоки с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты |
| <b>Владеть:</b> основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.   |

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий   | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная<br>работа |               | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий | Форма<br>текущего<br>контроля |
|---|------------------------------|----------------------|---------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|
|   |                              | Лек.<br>(часы)       | Пр.<br>(часы) |              |                              |                               |
| Раздел 1. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме  |                              |                      |               |              |                              | Т                             |
| Тема 1. Кипение на погруженных поверхностях: механизмы кипения и зависимости теплоотдачи от режимных параметров на теплоотдающей поверхности одиночных труб; на поверхности пучков труб; на пористой поверхности.               |                              | 3                    | 1             | 4,7          | ИЛ                           |                               |
| Тема 2. Критические тепловые потоки при кипении в большом объеме: гидро динамическая модель кризиса кипения, определяющая зависимость критической тепловой нагрузки от режимных параметров процесса кипения.                    |                              | 3                    | 2             | 4,7          | ИЛ                           |                               |
| Раздел 2. Теплообмен при кипении жидкости в каналах   | 7                            |                      |               |              |                              | Т                             |
| Тема 3. Основные параметры двухфазного потока при кипении в каналах:<br>расходные параметры, определяемые по уравнениям теплового баланса и массы; и истинные параметры, учитывающие движение потоков отдельных фаз             |                              | 3                    | 2             | 4,7          | ИЛ                           |                               |
| Тема 4. Режимы течения восходящего двухфазного потока и теплообмен в них: однофазная жидкость; пузырьковое кипение; пенное кипение, дисперсно-кольцевое кипение; режим ухудшенной теплоотдачи, расчетные уравнения теплоотдачи. |                              | 3                    | 2             | 4,7          | ИЛ                           |                               |
| Тема 5. Кипение нисходящего потока в вертикальных трубах: режимы кипящей гравитационно стекающей жидкости – пузырьковый и снарядный; режимы падающей пленки – некипящей, кипящей падающей пленки, пенный; дисперсно-кольцевой.  |                              | 3                    | 1             | 4,7          | ИЛ                           |                               |

|   |   |     |      |    |   |
|---|---|-----|------|----|---|
| Тема 6. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах: кризисы первого и второго рода; условия, определяющие их возникновение, диаграммы критической плотности теплового потока в зависимости от паросодержания двухфазной смеси.   |   |     |      | ИЛ |   |
| Тема 7. Теплоотдача при кипении растворов. Зависимость теплоотдачи от концентрации раствора, температуры раствора. Градиент концентраций.   |   |     |      | ИЛ |   |
| Раздел 3. Теплоотдача при конденсации водяных паров   |   |     |      |    |   |
| Тема 8. Конденсация на вертикальной плоской поверхности: физика процесса; расчетное уравнение зависимости коэффициента теплоотдачи от режима течения конденсатной пленки в условиях чистого насыщенного пара и двухфазной смеси.  | 3 | 1   | 7    | ИЛ |   |
| Тема 9. Конденсация на горизонтальных трубах: физика процесса при конденсации на одиночных трубах и пучках труб; расчетное уравнение зависимости коэффициента теплоотдачи от режима течения конденсатной пленки в условиях чистого насыщенного пара и двухфазной смеси. | 4 | 1   | 8    | ИЛ |   |
| Тема 10. Теплообмен при пленочной конденсации пара внутри труб: расчетные уравнения зависимостей коэффициента теплоотдачи от режима течения конденсатной пленки в условиях чистого насыщенного пара; влияние на теплоотдачу внешних факторов.                           | 4 | 1   | 8    | ИЛ | Т |
| Тема 11. Капельная конденсация: условия возникновения и факторы определяющие существование капель; основные параметры процесса, определяющие интенсивность теплоотдачи; расчетные уравнения определяющие коэффициент теплоотдачи.                                       | 4 | 2,5 | 4,7  | ИЛ |   |
| Тема 12. Диффузионное сопротивление при конденсации парогазовых смесей  | 4 | 3,5 | 5,55 | ИЛ |   |

|   |  |       |    |       |  |  |
|---|--|-------|----|-------|--|--|
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)               |  | 34    | 17 | 56,75 |  |  |
| Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)   |  | 0,25  |    |       |  |  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b> |  | 51,25 |    | 56,75 |  |  |

#### 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                                      |
|-----------------|---|---|
| ПК-5.2          | Имеет представление о законах и основных физико-математических моделях переноса теплоты и массы; теплотехническом и теплотехнологическом оборудовании, его эксплуатационных характеристиках; показателях оценки работы теплотехнических и теплотехнологических установок и систем.<br>Способен рассчитывать температурные поля в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкции тепловых и теплотехнологических установок; рассчитывать передаваемые тепловые потоки с целью интенсификации процессов теплообмена, обеспечения нормального температурного режима работы элементов оборудования и минимизации потерь теплоты<br>Демонстрирует навыки расчета процессов теплообмена в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования. | Вопросы для устного собеседования<br>Практико-ориентированные задания |

##### 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. Возможны небольшие погрешности.   |
| 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. Значительные погрешности в расчетах. |

##### 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  |
|-----------|--|
| Семестр 7 |  |
| 1         | Обобщённые переменные при кипении восходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах.        |
| 2         | Режимы течения адиабатного двухфазного потока.   |
| 3         | Режимы течения и теплоотдача при кипении восходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах. |
| 4         | Зависимость коэффициента теплоотдачи от тепловой нагрузки и скорости циркуляции.                             |
| 5         | Обобщённые переменные при кипении нисходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах.        |

|    |   |
|----|---|
| 6  | Основные параметры нисходящего двухфазного потока.  |
| 7  | Режимы течения при нисходящем двухфазном потоке в вертикальных трубах.                      |
| 8  | Теплоотдача при кипении нисходящего обогреваемого двухфазного потока в вертикальных трубах. |
| 9  | Кризисы теплоотдачи при кипении в трубах.   |
| 10 | Влияние концентрации раствора на интенсивность кипения.                                     |
| 11 | Диффузионное термическое сопротивление при конденсации парогазовой смеси.                   |
| 12 | Фазовое термическое сопротивление при конденсации парогазовой смеси.                        |
| 13 | Термическое сопротивление конденсатной пленки при конденсации парогазовой смеси.            |
| 14 | Зависимость коэффициента теплоотдачи при турбулентно текущей пленке конденсата.             |
| 15 | Зависимость коэффициента теплоотдачи при ламинарно текущей пленке конденсата.               |
| 16 | Зависимость коэффициента теплоотдачи при смешанном режиме текущей пленке конденсата.        |
| 17 | Конденсация пара на горизонтальных пучках труб.   |
| 18 | Теплообмен при конденсации движущегося пара внутри труб и ламинарно текущей пленке.         |
| 19 | Теплообмен при конденсации движущегося пара внутри труб и турбулентно текущей пленке.       |
| 20 | Капельная конденсация.  |
| 21 | Основы теплового расчета парожидкостного испарителя   |
| 22 | Теплообмен при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме                                |
| 23 | Кривые кипения $\alpha = f(q)$ ; $q = f(\Delta T)$  |
| 24 | Локальные характеристики процесса парообразования при кипении в большом объеме.             |
| 25 | Обобщённые переменные при кипении в большом объеме.   |
| 26 | Обобщённые переменные при кипении в большом объеме.   |
| 27 | Кипение на поверхностях с пористыми покрытиями.   |
| 28 | Теплоотдача при кипении жидкости в пучках из гладких труб.                                  |
| 29 | Теплоотдача при кипении жидкости в пучках из оребренных труб.                               |
| 30 | Гидродинамическая модель кризиса кипения в большом объеме.                                  |
| 31 | Основные расходные параметры двухфазного потока.  |
| 32 | Основные истинные параметры двухфазного потока.   |

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрены

### 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>       |  |  |             |   |
| М.А. Готовский, В.А. Суслов                    | Тепломассообмен в технологических установках ЦБП [Текст]. Ч.2.: учебное пособие  | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП    | 2011        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/teplomass2.htm">http://www.nizrp.narod.ru/teplomass2.htm</a>                       |
| М.А. Готовский, В.А. Суслов                    | Теплообмен в технологических установках ЦБП [Текст] 3-я часть : учеб. пособие  | М-во образования и науки РФ, СПб ГТУ РП. - СПб. : СПбГТУРП | 2012        | <a href="https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/2019_04_06_01.pdf">https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/2019_04_06_01.pdf</a> |
| М.А. Готовский, В.А. Суслов                    | Тепломассообмен в технологических установках ЦБП [Текст]. Ч.1.: учебное пособие  | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП    | 2010        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/teplomassoobmen_1p.htm">http://www.nizrp.narod.ru/teplomassoobmen_1p.htm</a>       |
| М.А. Готовский, В.А. Суслов                    | Тепломассообмен в технологических установках ЦБП [Текст]. Ч.4.: учебное пособие  | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП    | 2013        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/3.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/3.pdf</a>                   |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |  |  |             |   |
| В.А. Суслов                                    | 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>             |
| А.П. Бельский, В.Ю. Лакомкин                   | Специальные вопросы тепломассообмена в энергетических и теплотехнологических процессах и установках [Текст]: учебное пособие | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП    | 2011        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/spectmo.htm">http://www.nizrp.narod.ru/spectmo.htm</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 |