

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.03.02** Теплоперенос в элементах теплотехнического оборудования

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++zm130401.24-123\_23-13.plx

Кафедра:  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 (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации	
	Лекции	Практ. 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 Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 146

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:** - в передаче студентам объема знаний о передаче теплоты и массы

- 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:

Математическое моделирование рабочих процессов в теплоэнергетических установках

Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике и основные направления развития теплоэнергетики

Тепломассообменные процессы сушки и сушильные установки

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-4.1: Готов к обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации тепломассообменных установок**

**Знать:** современные и перспективные пути оптимизации и совершенствования теплотехнических процессов и аппаратов; методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать протекание процессов тепломассообмена в теплотехнических аппаратах

**Уметь:** выбирать оптимальные конструкции и режимные параметры теплотехнических аппаратов; принимать решения в области теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологии с учетом энергоресурсосбережения; определять оптимальные производственно-технологические режимы работы тепломассообменных аппаратов.

**Владеть:** принципами рационального управления теплотехническими процессами

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (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; пуках 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.		0,5	0,5	5	ИЛ

<p>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.</p>	0,5	0,5	5	ИЛ
<p>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</p>	0,5	0,5	5	ИЛ
<p>Раздел 3. Конденсация парогазовых смесей</p>				
<p>Тема 8. Термические сопротивления при конденсации парогазовых смесей: диффузионное, фазовое и пленки конденсата. Основные положения. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара.</p>	0,5	0,5	5	ИЛ
<p>Тема 9. Конденсация на вертикальной поверхности: режимы течения конденсатной пленки и расчетные уравнения для этих режимов. Расчетные критериальные и параметрические уравнения для коэффициента теплоотдачи.</p>	0,5	0,5	4	ИЛ
<p>Тема 10. Конденсация на горизонтальных трубах: одиночные трубы и пучки труб; расчетные зависимости. Диффузионное термическое сопротивление. Теплоотдача при конденсации пара на пучках горизонтальных труб.</p>	0,5	0,5	4	ИЛ
<p>Тема 11. Капельная конденсация: условия возникновения; основные параметры теплообмена; расчетные уравнения. Теплоотдача при капельной конденсации пара.</p>	0,5	0,5	4	ИЛ
<p>Тема 12. 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</p>	0,5	0,5	4	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
ПК-4.1	Имеет представление о современных и перспективных путях оптимизации и совершенствования теплотехнических процессов и аппаратов; методах создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать протекание процессов теплообмена в теплотехнических аппаратах Способен выбирать оптимальные конструкции и режимные параметры теплотехнических аппаратов; принимать решения в области теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологии с учетом энергоресурсосбережения; определять оптимальные производственно-технологические режимы работы теплообменных аппаратов. Демонстрирует навыки рационального управления теплотехническими процессами	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	Критические тепловые нагрузки при кипении в большом объеме.
2	Основные параметры двухфазного потока.
3	Режимы течения адиабатного двухфазного потока: горизонтальное, вертикальное и нисходящее течение.

4	Режимы течения и теплоотдача при кипении восходящего двухфазного потока в обогреваемой вертикальной трубе. Уравнение Н.Г. Стюшина
5	Режимы течения нисходящего двухфазного потока в обогреваемой вертикальной трубе. Механизмы передачи теплоты в зависимости от режимов течения.
6	Основные критерии подобия определяющие теплоотдачу к испаряющейся жидкости в условиях гравитационного течения.
7	Виды конденсации. Термические сопротивления при конденсации.
8	Конденсация на вертикальной поверхности при ламинарном течении пленки. Расчетные критериальные и параметрические уравнения для коэффициента теплоотдачи.
9	Волновой режим течения конденсатной пленки. Его влияние на теплоотдачу.
10	Конденсация на вертикальной поверхности при турбулентном течении пленки. Расчетные критериальные и параметрические уравнения для коэффициента теплоотдачи.
11	Диффузионное термическое сопротивление.
12	Теплоотдача при конденсации пара на горизонтальной трубе.
13	Теплоотдача при конденсации пара на пучках горизонтальных труб.
14	Процесс конденсации пара в трубах. Спутное течение и противоток в вертикальных трубах. Режимы течения парожидкостной смеси в горизонтальных трубах
15	Теплоотдача при конденсации пара в трубах.
16	Теплоотдача при капельной конденсации пара.
17	Диаграммы кипения: $\alpha$ - $q$ ; $q$ - $\Delta T$ ; $q$ - $T_{ст}$ .
18	Локальные характеристики процесса парообразования в большом объеме.
19	Дифференциальные уравнения, описывающие процесс теплообмена при пузырьковом кипении.
20	Обобщающие уравнения теплообмена при пузырьковом кипении в большом объеме. Основные критерии подобия.
21	Расчетные уравнения теплоотдачи при кипении жидкости в большом объеме
22	Теплоотдача при кипении на пористых поверхностях.
23	Теплоотдача при кипении на пучках труб.
24	Теплоотдача при кипении на ребристых трубах

### 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.

$$\alpha = [\rho_2 \cdot \lambda_3 \cdot g \cdot \rho_1 / (\mu \cdot H \cdot \Delta t)]^{1/4} = [9722 \cdot 0,673 \cdot 9,81 \times 2159000 / (355 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 55)]^{1/4} = 4187 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

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

$$\alpha = 3,0 \cdot q^{0,7} \cdot p^{0,15} = 3,0 \cdot 20000^{0,7} \cdot 30,15 = 724 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

### 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.

В течение семестра выполняется контрольная работа

## 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. Суслов	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. Суслов	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. Суслов	Теплообменное оборудование атомных и тепловых электростанций. Ч. 1.: учеб. пособие	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петербург. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. - Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД	2021	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kpte/1614867408.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kpte/1614867408.pdf</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин	Теплообменное оборудование предприятий [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2016	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/18.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/18.pdf</a>
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>
В.А. Суслов	Теплообменное оборудование атомных и тепловых электростанций. Ч. 2: учеб. пособие	М-во науки и высшего образования РФ, С.-Петербург. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики. - Санкт-Петербург : ВШТЭ СПбГУПТД	2021	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kpte/1638460400.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kpte/1638460400.pdf</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