

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

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

Учебный план: ФГОС3++b130301-23\_21-14.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Энергетика теплотехнологий  
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. 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, утвержденным 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

Сморodin С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморodin 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

**ПК-5.2: Способен выполнять специальные расчеты теплотехнологических процессов по типовым методикам**

**Знать:** 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.

**Уметь:** 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

**Владеть:** основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме	7					
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	Т
Раздел 2.						
Тема 2. Критические тепловые потоки при кипении в большом объеме: гидродинамическая модель кризиса кипения, определяющая зависимость критической тепловой нагрузки от режимных параметров процесса кипения.		3	2	4,7	ИЛ	Т
Раздел 3. Теплообмен при кипении жидкости в каналах						
Тема 3. Основные параметры двухфазного потока при кипении в каналах: расходные параметры, определяемые по уравнениям теплового баланса и массы; и истинные параметры, учитывающие движение потоков отдельных фаз		3	2	4,7	ИЛ	Т
Раздел 4.						
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	Т
Раздел 5.					Т	

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	
Раздел 6.					
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.	3	1	4,7	ИЛ	Т
Раздел 7.					
Тема 7. Теплоотдача при кипении растворов. Зависимость теплоотдачи от концентрации раствора, температуры раствора. Градиент концентраций.	3	1	4,7	ИЛ	Т
Раздел 8. 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	4,7	ИЛ	Т
Раздел 9.					
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.	3	1	4,7	ИЛ	Т
Раздел 10.					Т

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.		3	1	4,7	ИЛ	
Раздел 11.						
Тема 11. Капельная конденсация: условия возникновения и факторы определяющие существование капель; основные параметры процесса, определяющие интенсивность теплоотдачи; расчетные уравнения определяющие коэффициент теплоотдачи.		3	0,5	4,7	ИЛ	Т
Раздел 12.						
Тема 12. Диффузионное сопротивление при конденсации парогазовых смесей		1	3,5	5,05	ИЛ	Т
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. 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 Демонстрирует навыки расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.	Вопросы для устного собеседования 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	Задача решена верно. Возможны

	демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу.	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 смешенном 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 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	Тепломассообмен 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>
М.А. Готовский, В.А. Суслов	Тепломассообмен 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	Теплообмен 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>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Дерюгин, В. В., Васильев, В. Ф., Уляшева, В. М.	Тепломассообмен	Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ	2016	<a href="http://www.iprbookshop.ru/74378.html">http://www.iprbookshop.ru/74378.html</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>



А.П. Бельский, В.Ю. Лакомкин	Специальные вопросы теплообмена 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>
Дульнев, Г. Н., Тихонов, С. В.	Основы теории теплообмена	Санкт-Петербург: Университет ИТМО	2010	<a href="http://www.iprbookshop.ru/67505.html">http://www.iprbookshop.ru/67505.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