

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.26** Теплообмен

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++b130301-3\_22-14.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
 (специальность) **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Профиль подготовки:  
 (специализация) **Энергетика теплотехнологий**

Уровень образования: **бакалавриат**

Форма обучения: **очная**

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся			Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия				
4	УП	34	17	17	75,75	0,25	4	Зачет
	РПД	34	17	17	75,75	0,25	4	
5	УП	34	34		40	36	4	Экзамен
	РПД	34	34		40	36	4	
Итого	УП	68	51	17	115,75	36,25	8	
	РПД	68	51	17	115,75	36,25	8	

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 теплопроводности, конвективного теплообмена, теплообмена при фазовых и химических превращениях и теплообмена излучением, массообмена, 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:

- теплопроводности;
- конвективного теплообмена в однородной среде;
- теплообмена при фазовых и химических превращениях;
- теплообмена излучением;
- 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:

Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Математика

Физика

Химия

Гидрогазодинамика (Гидравлика)

Математика (Теория вероятностей)

Физика для теплоэнергетиков

Инженерная графика

Теоретическая механика

Экология

Информатика

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ОПК-3: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах**

**Знать:** основные законы и способы переноса теплоты и массы.

**Уметь:** использовать основные законы и способы переноса теплоты и массы

**Владеть:** расчетами процессов тепломассообмена в соответствии с заданной методикой.

### 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)	Лаб. (часы)			
Раздел 1. Теплопроводность	4						Т,Л
Тема 1. Температурное поле. Температурный градиент. Тепловой поток. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности.		3	3		8	ИЛ	
Тема 2. Передача теплоты через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки при стационарном режиме. Критический диаметр цилиндрической стенки. Пути интенсификации теплопередачи. Теплопроводность в стержне постоянного поперечного сечения. Теплопередача через ребристую стенку. Лабораторная работа №1. Определение коэффициента теплопроводности изоляционных материалов методом пластины		3		3	8	ИЛ	
Тема 3. Нестационарная теплопроводность. Регулярный режим.		4	3		7,75	ИЛ	
Раздел 2. Конвекция							
Тема 4. Основные положения учения о конвективном теплообмене. Основные понятия и определения. Физические свойства жидкости. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Турбулентный перенос теплоты и количества движения. Лабораторная работа №2. Определение коэффициента теплоотдачи при свободном движении от стенки вертикальной трубы к воздуху		3		3	8	ИЛ	Л,Т

<p>Тема 5. Подобие и моделирование процессов конвективного теплообмена. Общие положения. Приведение математической формулировки краевой задачи к записи в безразмерных переменных. Безразмерные переменные и уравнения подобия. Условия подобия физических процессов. Следствия из условий подобия. Метод размерностей. Моделирование процессов конвективного теплообмена.</p>	3	3		8	ИЛ	
<p>Тема 6. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности. Интегральные уравнения пограничного слоя. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое. Переход ламинарного течения в турбулентное. Теплоотдача при турбулентном пограничном слое. Лабораторная работа №3. Определение коэффициента теплоотдачи при свободном движении от стенки горизонтальной трубы к воздуху</p>	4		3	8	ИЛ	
<p>Тема 7. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах. Особенности движения и теплообмена в трубах. Интегральное уравнение теплоотдачи для стабилизированного теплообмена. Теплоотдача при течении жидкости в гладких трубах круглого поперечного сечения. Теплоотдача при течении жидкости в трубах некруглого поперечного сечения, в изогнутых и шероховатых трубах.</p>	3	3		4	ИЛ	
<p>Тема 8. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной круглой трубы. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб. Лабораторная работа №4. Определение коэффициента теплоотдачи и гидравлического сопротивления при вынужденном движении воздуха внутри трубы</p>	3		4	8	ИЛ	
<p>Тема 9. Теплоотдача при свободном движении жидкости. Основные положения. Теплоотдача при свободном движении жидкости в большом объеме. Теплообмен при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве. Лабораторная работа №5. Определение коэффициента излучения твердого тела калориметрическим</p>	4	3	4	8	ИЛ	

Тема 10. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные понятия и законы. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Тепло- и массоотдача. Диффузионный пограничный слой. Аналогия процессов теплообмена и массообмена.		4	2		8	ИЛ	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34	17	17	75,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25					
Раздел 3. Теплообмен при кипении							
Тема 11. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкости большом объеме. 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.		6	4		5	ИЛ	
Тема 12. Теплообмен при кипении жидкости в условиях направленного течения. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб при восходящем течении потока. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб при гравитационном течении потока. Кризисы кипения.		4	4		5		Т
Тема 13. Теплообмен при конденсации чистого пара. Основные положения. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара.	5	4	4		5		
Раздел 4. Тепловое излучение.							
Тема 14. Основные положения. Виды лучистых потоков. Вектор излучения. Законы теплового излучения.		4	4		5	ИЛ	
Тема 15. Теплообмен излучением между твердыми телами. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Излучательная способность твердых тел. Теплообмен излучением между телом и его оболочкой. Теплообмен излучением между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве. Угловые коэффициенты излучения.		4	4		5	ИЛ	Т

Тема 16. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Особенности излучения газов и паров. Лучистый теплообмен между газовой средой и оболочкой. Сложный теплообмен.	4	4		5	ИЛ	
Раздел 5. Теплообменные аппараты						
Тема 17. Классификация теплообменных аппаратов. Тепловой расчет теплообменных аппаратов. Основные положения и уравнения теплового расчета. Средняя разность температур и методы ее вычисления. Методы определения температур поверхности теплообмена.	4	4		5	ИЛ	Т
Тема 18. Гидромеханический расчет теплообменных аппаратов. Задачи расчета. Гидравлические сопротивления элементов теплообменного аппарата. Расчет мощности, необходимой для перемещения жидкости.	4	6		5	ИЛ	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	34	34		40		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)	2,5			33,5		
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>	138,75			149,25		

#### 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
ОПК-3	<p>Демонстрирует знания законов и основных физико-математических моделей механизмов переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам; проблем реконструкции и модернизации теплотехнического оборудования объектов и сооружений теплоэнергетики.</p> <p>Способен применять современные методы исследования; 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.</p> <p>Использует основные методики расчетов процессов теплообмена в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования; методики испытаний технологического оборудования в соответствии с профилем работы; представляет результаты 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
5 (отлично)	Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных теплофизических законов, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях при ответе; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить взаимосвязь основных теплофизических законов и их значение для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности и широкую эрудицию в использовании учебного материала.	Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо, может представить его графически. Получил правильный ответ и может его интерпретировать.
4 (хорошо)	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний основных теплофизических законов, ориентируется в основных понятиях и определениях; усвоил основную литературу; допускает незначительные погрешности при ответах на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы преподавателя.	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.
3 (удовлетворительно)	Обучающийся показывает знания учебного материала в минимальном объеме; может сформулировать физические законы, понятия и определения, но при этом, допуская большое количество принципиальных ошибок; знаком с основной литературой; допускает существенные ошибки в ответе на экзамене, но может устранить их под руководством преподавателя.	Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Знает размерности физических величин, может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи.
2 (неудовлетворительно)	Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные теплофизические законы; плохо ориентируется в основных понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой; допускает при ответе на экзамене существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользование подсказкой другого человека.	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
Зачтено	Обучающийся дает в целом качественный ответ, основанный на всех источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	Задача решена верно. Возможны небольшие погрешности.
Не зачтено	Обучающийся не имеет достаточного уровня знаний, плохо ориентируется в основных понятиях и определениях дисциплины; допускает при ответе	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 4	
1	Уравнение сплошности.
2	Условия подобия физических процессов. Следствия из условий подобия.
3	Вывод основных критериев подобия.
4	Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности при ламинарном пограничном слое.
5	Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности при ламинарном пограничном слое.
6	Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности при турбулентном пограничном слое.
7	Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах в условиях ламинарного режима.
8	Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в изогнутых трубах.
9	Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в шероховатых трубах.
10	Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб.
11	Теплоотдача при свободном движении жидкости.
12	Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании одиночной трубы.
13	Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей, металлов и строительных материалов.
14	Дифференциальное уравнение теплопроводности.
15	Условия однозначности для процессов теплопроводности.
16	Передача теплоты через плоскую стенку. Граничные условия первого и третьего рода.
17	Передача теплоты через цилиндрическую стенку. Граничные условия первого и третьего рода.
18	Передача теплоты через шаровую стенку. Граничные условия первого и третьего рода
19	Критический диаметр цилиндрической стенки и тепловой изоляции.
20	Интенсификация теплопередачи. Передача теплоты через ребристую стенку.
21	Теплопроводность в стержне постоянного поперечного сечения.
22	Нестационарные процессы теплопроводности в плоской пластине. Граничные условия третьего рода.
23	Регулярный режим процессов теплопроводности
24	Уравнение энергии.
25	Уравнение движения.
Семестр 5	
26	Условия однозначности при конвективном теплообмене.
27	Теория подобия: вывод критериев подобия.
28	Основные критерия подобия. Их физический смысл.
29	Продольное омывание плоской поверхности. Условия прилипания.
30	Гидродинамический пограничный слой.
31	Тепловой пограничный слой.
32	Турбулентный перенос теплоты и количества движения
33	Система уравнений ламинарного пограничного слоя.
34	Система уравнений ламинарного пограничного слоя.
35	Система уравнений турбулентного пограничного слоя.
36	Система уравнений турбулентного пограничного слоя.
37	Теплоотдача при ламинарном пограничном слое.
38	Теплоотдача при турбулентном пограничном слое.
39	Основные режимы течения в трубах.
40	Теплоотдача при ламинарном течении жидкости в трубах и каналах.
41	Теплоотдача при турбулентном режиме течения жидкости
42	Теплоотдача в изогнутых и шероховатых трубах.
43	Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании одиночной трубы.
44	Теплоотдача при поперечном омывании коридорного пучка.
45	Теплоотдача при свободном движении жидкости.

46	Режимы при кипении жидкости в большом объёме.
47	Обобщающее уравнение Стюшиона при кипении в большом объёме.
48	Режимы течения восходящего двухфазного потока и теплоотдача в них.
49	Обобщающее уравнение Стермана при кипении в трубах.
50	Режимы течения при гравитационно стекающем двухфазном потоке в вертикальных трубах и теплоотдача в нём.
51	Термические сопротивления при конденсации чистого пара.
52	Термическое сопротивление конденсатной пленки
53	Закон Планка.
54	Закон Вина.
55	Закон Стефана-Больцмана.
56	Закон Кирхгофа.
57	Закон Ламберта.
58	Лучистый теплообмен между твердыми телами.
59	Лучистый теплообмен между телами с применением экранов.
60	Лучеиспускание газов.
61	Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные понятия и законы.
62	Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей, металлов и строительных материалов.
63	Диффузионный пограничный слой. Аналогия процессов теплообмена и массообмена.
64	Теплоотдача при поперечном омывании одиночной трубы.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

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

1 Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, если стенка выполнена из стали

$\lambda=40 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$ , толщина стенки  $\delta=50 \text{ мм}$ , температуры стенки поддерживаются постоянными  $t_1=100 \text{ °C}$ ,  $t_2=90 \text{ °C}$

$$q = \lambda \cdot (t_1 - t_2) / \delta =$$

$$= 40 \cdot (100 - 90) / 0,05 = 8000 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

2 Определить разность температур на поверхностях пробковой стенки  $\lambda=0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$ , толщиной  $\delta=50 \text{ мм}$  при плотности

теплового потока через нее  $q=70 \text{ Вт}/\text{м}^2$

$$\Delta t = q \cdot \delta / \lambda = 70 \cdot 0,05 / 0,07 = 50 \text{ °C}$$

## 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

Для зачета и экзамена время на подготовку устного ответа – 45 минут. В это время входит подготовка ответа на теоретические вопросы и решение практико-ориентированного задания

## 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]: 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>				
В.Н. Белоусов [и др.]	Тепломассообмен [Текст]: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2014	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/11.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/11.pdf</a>
В.А. Суслов	Программа и контрольные задания по курсу «Тепломассообмен» [Текст]	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2013	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/1.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/1.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>

## 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

MicrosoftOfficeProfessional 2013  
 MicrosoftWindows 8

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

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска
А-205	Лабораторные установки для исследования процессов теплообмена в жидкостях и газах
А-207	Лабораторные установки для испытания различных конструкций теплообменных аппаратов, лабораторная установка Теплоснабжение с МПСО, лабораторный стенд по исследованию термодинамических процессов