

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет Мореходный  
(наименование факультета, к которому относится кафедра)

Кафедра Технологические машины и оборудование  
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан мореходного факультета  
Труднев С.Ю.

« 20 » 03 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Термодинамика и теплообмен»**

направление подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

направленность (профиль) «Холодильная техника и технологии»

Петропавловск-Камчатский,  
2019 г.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Дисциплина «Термодинамика и тепломассообмен» является теоретической основой при изучении профильных дисциплин программы подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» (профиль «Холодильная техника и технологии»).

*Целью* преподавания дисциплины является изучение:

- фундаментальных законов термодинамики и основных законов и закономерностей теплопереноса в теплотехнических установках;
- основных термодинамических свойств рабочих тел и теплоносителей и методов расчета этих свойств;
- тепломассообменных процессов, протекающих в тепломассообменных аппаратах низкотемпературных установок;
- путей интенсификации тепломассообменных процессов требуемых для, снижения материалоемкости и энергетических затрат, улучшения технико-экономических показателей и усовершенствования оборудования низкотемпературных установок.
- методов расчета и анализа циклов теплотехнических установок для обеспечения достижения их наивысшей энергетической эффективности.

*Задачей* курса является:

- усвоение основных законов преобразования тепловой энергии в работу и наоборот и передачи теплоты в теплотехнических устройствах;
- формирование умения оперировать свойствами рабочих тел и теплоносителей в теплотехнических установках;
- выработка творческого подхода при использовании элементов термодинамического анализа и теории тепломассообмена в решении конкретных задач в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Термодинамика и тепломассообмен» направлен на формирование *профессиональных компетенций* (ПК) в области проектно-конструкторской деятельности, на которые ориентирована программа бакалавриата:

- готовность участвовать в проектировании машин и аппаратов с целью обеспечения их эффективной работы, высокой производительности, а также прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надёжности и износостойкости узлов и деталей машин (ПК-8).

Перечень планируемых результатов обучения при изучении дисциплины приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-8	готовность участвовать в проектировании машин и аппаратов с целью обеспечения их эффективной работы, высокой производительности, а также прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надёжности и износостойкости	<i>знать:</i>	
		– классические и технические теории и методы технической термодинамики и тепломассообмена;	3(ПК-8)1
		– выражения основных законов и закономерностей, используемых для выполнения тепловых расчётов;	3(ПК-8)2
		– теплофизические свойства рабочих тел и теплоносителей и их зависимость от параметров со-	3(ПК-8)3

стойкости узлов и деталей машин	<p>стояния основных рабочих тел и теплоносителей;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– величины, характеризующие преобразование энергии в термодинамических процессах и циклах теплотехнических установок;</li> <li>– способы передачи тепла и пути интенсификации процессов тепло- и массообмена в системах и аппаратах для получения низких температур;</li> <li>– показатели энергетической эффективности прямых и обратных термодинамических циклов;</li> <li>– влияние изменения термодинамических параметров рабочего тела на энергетическую эффективность различных теплотехнических установок;</li> <li>– основные закономерности тепло- и массообменных процессов;</li> <li>– методики расчетов термодинамических процессов и процессов тепломассопереноса;</li> <li>– методики расчета и проектирования машин и аппаратов с целью обеспечения их максимальной производительности;</li> <li>– влияние термодинамических процессов и процессов тепломассообмена на характеристики конкретных низкотемпературных элементов и узлов установок и систем низкотемпературных машин и установок различного назначения.</li> </ul>	<p>3(ПК-8)4</p> <p>3(ПК-8)5</p> <p>3(ПК-8)6</p> <p>3(ПК-8)7</p> <p>3(ПК-8)8</p> <p>3(ПК-8)9</p> <p>3(ПК-8)10</p> <p>3(ПК-8)11</p>
	<p><i>уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализировать поставленные задачи на основе подбора и изучения литературных источников;</li> <li>– использовать справочную литературу по свойствам различных веществ и выбирать расчетные рекомендации для каждой конкретной задачи;</li> <li>– рассчитывать величины, характеризующие преобразование энергии в термодинамических процессах и циклах теплотехнических установок;</li> <li>– вычислять показатели энергетической эффективности прямых и обратных термодинамических циклов;</li> <li>– уметь анализировать влияние изменения термодинамических параметров рабочего тела на энергетическую эффективность различных теплотехнических установок;</li> <li>– рассчитывать количество передаваемого тепла, выбрать пути интенсификации процессов теплообмена;</li> <li>– обрабатывать и анализировать полученные результаты технических расчетов;</li> <li>– составлять описания выполненных расчётно-экспериментальных работ;</li> <li>– применять полученные знания при расчете и проектировании холодильных и криогенных установок и сооружений, машин и аппаратов;</li> <li>– выполнять тепловые и расчеты машин и аппаратов с целью обеспечения их максимальной производительности, долговечности и безопасности;</li> <li>– использовать знания о термодинамических процессах и процессах тепломассообмена в работе по эксплуатации и рациональному ведению технологических процессов в холодильных и криогенных установках, системах жизнеобеспечения;</li> </ul> <p><i>владеть навыками:</i></p>	<p>У(ПК-8)1</p> <p>У(ПК-8)2</p> <p>У(ПК-8)3</p> <p>У(ПК-8)4</p> <p>У(ПК-8)5</p> <p>У(ПК-8)6</p> <p>У(ПК-8)7</p> <p>У(ПК-8)8</p> <p>У(ПК-8)9</p> <p>У(ПК-8)10</p> <p>У(ПК-8)11</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>– проектирования машин и аппаратов с целью обеспечения их максимальной производительности;</li> <li>– тепловых расчётов машин и аппаратов с целью обеспечения их максимальной производительности;</li> <li>– эксплуатации и рационального ведения технологических процессов в холодильных и криогенных установках, системах жизнеобеспечения;</li> <li>– расчетно-экспериментальных работ по анализу характеристик конкретных низкотемпературных установок и систем.</li> </ul>	В(ПК-8)1 В(ПК-8)2 В(ПК-8)3 В(ПК-8)4 В(ПК-8)5
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Термодинамика и тепломассообмен» является обязательной дисциплиной вариативной части учебного плана подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и систем жизнеобеспечения».

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Высшая математика», «Физика», «Химия».

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины, используются при изучении профильных дисциплин учебного плана: «Низкотемпературные машины», «Тепломассообменные аппараты низкотемпературных установок», «Научные основы криологии», «Теория и расчет циклов криогенных систем», «Теоретические основы холодильной техники» и «Теоретические основы кондиционирования воздуха».

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» преподавание дисциплины реализуется в 5 и 6 семестрах обучения.

Тематический план дисциплины по очной форме обучения представлен в таблице 3.1., по заочной форме обучения – в таблице 3.2.

Таблица 3.1. – Тематический план дисциплины по очной форме обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний по дисциплине
			Лекции	Семинары (практические занятия)	Лабораторные работы			
<b>Раздел 1. Техническая термодинамика</b>	<b>180</b>	<b>85</b>	<b>34</b>	<b>51</b>		<b>59</b>	<b>О Т</b>	<b>36</b>
Тема 1. Основные понятия и определения. Идеальный газ.	16	10	6	4		9	ПО ПЗ Т КЛ	
Тема 2. Первый закон термодинамики	24	18	6	12		10	О	

							ПЗ РГР Т Кл	
Тема 3. Второй закон термодинамики	12	6	2	4		10	О ПЗ РГР Т Кл	
Тема 4. Реальные газы.	16	10	4	6		10	О ПЗ РГР Т Кл	
Тема 5. Термодинамика истечения газов и паров	12	6	2	4		10	О ПЗ Кл	
Тема 6. Термодинамические циклы теплотехнических устройств	41	35	14	21		10	О ПЗ Т Кл	
<b>Раздел 2. Тепломассообмен</b>	<b>216</b>	<b>90</b>	<b>36</b>	<b>54</b>		<b>108</b>	<b>О Т</b>	<b>18</b>
Тема 7. Основные понятия теории теплообмена. Основной закон и дифференциальное уравнение теплопроводности		8	6	2		18	О ПЗ Т	
Тема 8. Отдельные задачи стационарной теплопроводности и теплопередачи		20	6	14		20	ПО ПЗ Кр Т	
Тема 9. Нестационарная теплопроводность		6	2	4		20	О ПЗ РГР Т	
Тема 10. Конвективный теплообмен		46	18	28		20	О ПЗ РГР Т	
Тема 11. Основы теории массообмена		4	2	2		10	О ПЗ	
Тема 12. Теплообмен излучением		6	2	4		20	О ПЗ Т	
<b>Всего</b>	<b>396</b>	<b>175</b>	<b>70</b>	<b>105</b>		<b>167</b>		

Примечание: О – опрос; ; ПО – письменный опрос; ПЗ – практические задания; Кл – коллоквиум, Кр – контрольная работа; РГР – расчетно-графическая работа (контрольная работа для студентов ЗФО); Т – тестирование.

Таблица 3.2. – Тематический план дисциплины по заочной форме обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний по дисциплине
			Лекции	Семинары (практические занятия)	Лабораторные работы			
<b>Раздел 1. Техническая термодинамика</b>	<b>180</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>12</b>		<b>151</b>	<b>О Т</b>	<b>9</b>
Тема 1. Основные понятия и определения. Идеальный газ.			2	2		20	О ПЗ Т	
Тема 2. Первый закон термодинамики			2	2		20	О ПЗ РГР Т	
Тема 3. Второй закон термодинамики			2	2		20	О ПЗ РГР Т	
Тема 4. Реальные газы.				2		35	О ПЗ РГР Т	
Тема 5. Термодинамика истечения газов и паров				2		36	О Пз	
Тема 6. Термодинамические циклы теплотехнических устройств.			2	2		20	О ПЗ Т	
<b>Экзамен</b>	<b>9</b>							<b>9</b>
<b>Раздел 2. Тепломассообмен</b>	<b>216</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>12</b>		<b>187</b>	<b>О Т</b>	<b>9</b>
Тема 7. Основные понятия теории теплообмена. Основной закон и дифференциальное уравнение теплопроводности			2	2		27	ПО ПЗ Кр Т	
Тема 8. Отдельные задачи стационарной теплопроводности и теплопередачи				4		30	О ПЗ Кр РГР Т	
Тема 9. Нестационарная теплопроводность			2	2		20	О ПЗ	
Тема 10. Конвективный теплообмен			2	2		30	О ПЗ	

							РГР Т	
Тема 11. Основы теории массообмена						30	О ПЗ	
Тема 12. Теплообмен излучением			2	2		30	О ПЗ Т	
<b>Экзамен</b>	<b>9</b>							<b>9</b>
<b>Всего</b>	<b>396</b>	<b>40</b>	<b>16</b>	<b>24</b>		<b>338</b>		<b>18</b>

*Примечание: О – опрос; ПО – письменный опрос, ПЗ – практические задания; Кр – контрольная работа; РГР – расчетно-графическая работа (контрольная работа для студентов ЗФО); Т – тестирование.*

### **Раздел 1. Техническая термодинамика**

#### **Тема 1. Основные понятия и определения. Идеальный газ.**

*Лекция.* Введение. Основные понятия и определения. Идеальный газ. Термодинамические параметры состояния. Уравнение состояния идеального газа.

*Рассматриваемые вопросы.* Техническая термодинамика как теоретическая основа работы теплотехнических устройств. Термодинамическая система и окружающая среда. Термодинамический процесс. Молекулярно-кинетическая теория строения вещества и модель идеального газа. Термодинамические параметры состояния: удельный объем, давление и температура. Законы идеального газа: Бойля-Марриотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро. Уравнение состояния идеального газа Клапейрона-Менделеева.

*Практическое занятие.* Термодинамические параметры. Уравнение состояния и законы идеального газа.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Определение абсолютного давления, термодинамической температуры и удельного объема. Определение термодинамических параметров идеального газа с использованием уравнений Клапейрона-Менделеева и законов Авогадро, Бойля-Марриотта, Шарля и Гей-Люссака.

*Лекция.* Смеси идеальных газов.

*Рассматриваемые вопросы.* Способы задания состава смеси. Соотношение между массовыми, объемными и мольными долями компонентов смеси. Закон Дальтона. Парциальное давление и объем компонента газовой смеси. Кажущаяся молекулярная масса и газовая постоянная смеси идеальных газов.

*Практическое занятие.* Определение термодинамического состояния смеси идеальных газов.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Использование уравнения состояния и законов идеального газа для определения термодинамических параметров смеси идеальных газов и компонентов газовой смеси.

*Лекция.* Равновесное состояние и равновесный термодинамический процесс.

*Рассматриваемые вопросы.* Понятие о равновесном состоянии термодинамической системы. Равновесные и неравновесные термодинамические процессы. Графическое представление равновесного термодинамического процесса изменения состояния идеального газа в тепловых диаграммах. Обратимые термодинамические процессы.

*Основные понятия темы:* Термодинамические параметры состояния. Термодинамическая система. Идеальный газ. Законы идеального газа Авогадро, Бойля-Марриотта, Шарля и Гей-Люссака. Уравнение состояния идеального газа Клапейрона-Менделеева. Газовая постоянная. Массовая, объемная и мольная доли компонентов смеси идеальных газов. Закон Даль-

тона. Парциальное давление компонента газовой смеси. Равновесное состояние термодинамической системы. Равновесный термодинамический процесс. Обратимый термодинамический процесс. Термодинамическая диаграмма идеального газа.

## **Тема 2. Первый закон термодинамики.**

*Лекция.* Первый закон термодинамики.

*Рассматриваемые вопросы.* Внутренняя энергия термодинамической системы. Теплота и работа – как формы передачи энергии. Эквивалентность теплоты и работы. Работа изменения объема рабочего тела и ее графическое представление. Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока массы.

*Практическое занятие.* Дифференциальные и интегральные уравнения первого закона термодинамики.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Использование дифференциальных и интегральных уравнений первого закона термодинамики для решения задач по определению термодинамического состояния рабочего тела.

*Лекция 1.5.* Теплоёмкость. Энтальпия и энтропия.

*Рассматриваемые вопросы.* Массовая, объёмная, мольная теплоемкость. Зависимость теплоемкости от температуры тела. Средняя и истинная теплоемкости. Изохорная и изобарная теплоемкости. Формула Майера. Энтальпия. Энтропия. Определение изменения энтропии. Тепловая энтропийная диаграмма.

*Практическое занятие.* Теплоемкость тела.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Определение истинной и средней теплоемкости. Использование понятия энтальпии и первого закона термодинамики для определения термодинамического состояния вещества.

*Лекция.* Процессы изменения состояния идеального газа.

*Рассматриваемые вопросы.* Последовательность рассмотрения термодинамического процесса изменения состояния идеального газа. Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный термодинамические процессы. Политропный процесс.

*Практическое занятие.* Основные термодинамические процессы идеального газа.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Определение термодинамических параметров в начале и конце процесса и характеристик процесса: внутренней энергии идеального газа, совершаемой или затрачиваемой работы, подводимой или отводимой теплоты, изменения энтропии в изохорном, изобарном, изотермическом и адиабатном термодинамическом процессе изменения состояния идеального газа. Графическое изображение процессов в тепловых диаграммах.

*Основные понятия темы:* Внутренняя энергия термодинамической системы. Теплота и работа. Первое начало термодинамики. Дифференциальные уравнения первого закона термодинамики. Энтальпия. Энтропия. Теплоемкость. Политропный, изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный термодинамические процессы.

## **Тема 3. Второй закон термодинамики.**

*Лекция.* Второй закон термодинамики.

*Рассматриваемые вопросы.* Формулировки второго закона термодинамики. Круговой процесс или термодинамический цикл. Прямой термодинамический цикл теплового двигателя. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Обратный термодинамический цикл холодильной машины и теплового насоса. Холодильный коэффициент и отопительный коэффициенты. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Термодинамические циклы в  $Ts$ -диаграмме. Цикл Карно. Теорема Карно. Обратимый и необратимый термодинамические циклы.



*Практическое занятие.* Прямой и обратный термодинамические циклы. Цикл Карно.  
*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Построение термодинамических циклов в  $T,s$ -диаграмме. Расчет характеристик идеального термодинамического цикла Карно. Определение термического коэффициента полезного действия прямого цикла и холодильного (отопительного) коэффициента обратного цикла. Термодинамический анализ прямого и обратного циклов.

*Практическое занятие.* Дифференциальное и интегральное уравнения второго закона термодинамики.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Использование уравнений второго закона термодинамики для расчёта термодинамических процессов и циклов.

*Основные понятия темы:* Второе начало термодинамики. Дифференциальное уравнение второго закона термодинамики. Прямой и обратный термодинамические циклы. Тепловой двигатель. Холодильная машина. Тепловой насос. Коэффициент полезного действия. Холодильный и отопительный коэффициенты. Цикл и теорема Карно. Обратимый и необратимый термодинамические циклы.

#### **Тема 4. Реальные газы**

*Лекция.* Реальные газы.

*Рассматриваемые вопросы.* Термодинамические свойства реальных газов. Фазовые  $p,v$ - и  $p,T$ -диаграммы. Условия фазового равновесия. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило фаз Гиббса. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Испарение, кипение, конденсация. Состояние насыщения. Процесс парообразования при постоянном давлении. Процессы подогрева и переохлаждения жидкости. Параметры влажного пара. Процесс перегрева пара. Термодинамические процессы изменения состояния пара.

*Практическое занятие.* Термодинамические диаграммы.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Изучение структуры термодинамических диаграмм. Определение термодинамических параметров и с помощью тепловых диаграмм. Построение термодинамических процессов в тепловых диаграммах и их расчет.

*Практическое занятие.* Термодинамические таблицы и диаграммы водяного пара.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Определение термодинамических параметров воды и водяного пара, расчет процессов изменения его термодинамического состояния. Определение параметров состояния по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара. Построение термодинамических процессов в  $T,s$ -,  $p,v$ - и  $i,p$ -диаграммах.

*Лекция.* Влажный воздух.

*Рассматриваемые вопросы.* Параметры влажного воздуха: Абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, парциальное давление пара и энтальпия. Точка росы. Аналитическое определение параметров влажного воздуха.  $i,d$  – диаграмма влажного воздуха. Термодинамические процессы для влажного воздуха и их характеристики.

*Практическое занятие.* Параметры состояния влажного воздуха.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Расчет и определение с помощью  $i,d$  – диаграммы влажного воздуха параметров состояния. Построение процессов влажного воздуха и их расчет.

*Основные понятия темы:* Реальный газ. Фазовое равновесие. Фазовые  $p,v$ - и  $p,T$ -диаграммы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило фаз Гиббса. Уравнение состояния реального газа Ван-дер-Ваальса. Испарение, кипение, конденсация. Состояние насыщения. Термодинамические процессы изменения состояния пара. Термодинамические диаграммы. Влажный воздух. Параметры состояния влажного воздуха. Диаграмма  $i,d$  влажного воздуха.

#### **Тема 5. Термодинамика истечения газов и паров**

*Лекция.* Термодинамика процессов истечения газов и паров. Процесс дросселирования.

*Рассматриваемые вопросы.* Истечение газов и паров. Основные понятия и математическое описание. Адиабатное истечение из суживающегося сопла. Процесс дросселирования

*Практическое занятие.* Характеристики процесса дросселирования.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Термодинамический анализ процессов дросселирования газов, паров и жидкостей. Определение термодинамических параметров потока.

*Основные понятия темы:* Термодинамические процессы истечения газов и паров. Термодинамические параметры потока газа и жидкости. Адиабатное истечение из суживающегося сопла. Дросселирование.

## **Тема 5. Термодинамические циклы теплотехнических устройств**

*Лекция.* Циклы поршневых газовых двигателей.

*Рассматриваемые вопросы.* Циклы двигателей внутреннего сгорания с изохорным, изобарным и смешанным подводом теплоты. Характеристики циклов и термические коэффициенты полезного действия циклов.

*Практическое занятие.* Расчёт циклов двигателей внутреннего сгорания.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Определение термодинамических параметров в узловых точках цикла. Расчет термического коэффициента полезного действия.

*Практическое занятие.* Термодинамический анализ циклов внутреннего сгорания.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Графический сравнительный анализ циклов Отто, Дизеля и Тринклера: при одинаковой степени сжатия, и равном количестве отведённой теплоты, при одинаковых максимальных давлениях и температурах.

*Лекция.* Циклы газотурбинных установок. Циклы реактивных двигателей.

*Рассматриваемые вопросы.* Цикл газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном давлении. Прямоточный бескомпрессорный реактивный двигатель с горением топлива при постоянном давлении. Турбокомпрессорный воздушно-реактивный двигатель.

*Практическое занятие.* Расчёт и анализ циклов газотурбинных установок.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Определение термодинамических параметров в узловых точках цикла. Расчет термического коэффициента полезного действия. Выявление путей повышения эффективности работы газотурбинной установки.

*Лекция.* Циклы паросиловых установок.

*Рассматриваемые вопросы.* Основные особенности прямых паровых циклов. Цикл Карно в области влажного пара. Цикл Ренкина. Методы повышения термического коэффициента полезного действия паросиловых установок. Теплофикационные установки.

*Практическое занятие.* Расчет и термодинамический анализ циклов паросиловых установок.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Построение циклов в термодинамических диаграммах. Определение параметров в узловых точках цикла и работы цикла. Расчет термического коэффициента полезного действия. Выявление путей повышения эффективности работы парового цикла.

*Лекция.* Теоретический цикл воздушной холодильной машины.

*Рассматриваемые вопросы.* Принципиальная схема и цикл работы компрессионной холодильной машины.

*Практическое занятие.* Тепловой расчет цикла воздушной холодильной машины.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Определение термодинамических параметров воздуха в узловых точках цикла. Расчет холодильного коэффициента.

*Лекция.* Теоретический цикл паровой холодильной машины.

*Рассматриваемые вопросы.* Основные особенности обратных паровых циклов. Цикл Карно для паровой холодильной машины. Принципиальная схема паровой компрессионной холодильной машины. Замена расширительного цилиндра регулирующим вентилем. Переохлаждение холодильного агента перед регулирующим вентилем. Сжатие сухого пара.

*Практическое занятие.* Тепловой расчет теоретического цикла паровой компрессионной холодильной машины.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Построение цикла в термодинамических диаграммах холодильных агентов. Определение параметров в узловых точках цикла, удельной массовой холодопроизводительности, мощности затрачиваемой компрессором, тепловой нагрузки на конденсатор. Расчет теоретического холодильного коэффициента.

*Практическое занятие.* Термодинамический анализ цикла паровой компрессионной холодильной машины.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Термодинамический анализ влияния изменения разницы температур кипения и конденсации холодильного агента на холодильный коэффициент. Оценка влияния переохлаждения жидкого холодильного агента перед регулирующим вентилем и перегрева паров холодильного агента на всасывании в компрессор на эффективность обратного термодинамического цикла.

*Лекция.* Цикл теплового насоса.

*Рассматриваемые вопросы.* Цикл термотрансформатора (теплового насоса). Отопительный коэффициент.

*Практическое занятие.* Тепловой расчет и термодинамический анализ теоретического цикла теплового насоса.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Построение цикла в термодинамических диаграммах холодильных агентов. Определение параметров в узловых точках цикла, удельной массовой теплопроизводительности, мощности затрачиваемой компрессором, тепловой нагрузки на испаритель. Расчет теоретического коэффициента обогрева. Выявление факторов влияющих на эффективность работы теплового насоса.

*Лекция.* Циклы теплоиспользующих паровых холодильных машин.

*Рассматриваемые вопросы.* Принцип работы парожеткорной и абсорбционной холодильных машин.

*Основные понятия темы:* Теплотехническое устройство. Принципиальная схема и термодинамический цикл: двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных установок, реактивных двигателей, паросиловых установок, холодильных машин и тепловых насосов. Термодинамический анализ циклов.

*Практическое занятие.* Коллоквиум.

*Семинар.* Устный опрос с целью выяснения уровня знаний студентов группы по материалу тем 1 – 5. Защита расчетно-графической работы № 1. Тестирование.

*Контрольные вопросы:*

- 1) Какие термодинамические параметры относят к измеряемым, какова их размерность?
- 2) В чем заключается различие между абсолютным и избыточным давлением? Какое давление называется барометрическим и вакуумметрическим? Как связаны все эти давления между собой?
- 3) Температурные шкалы. Какую температуру называют абсолютной?
- 4) Что называют термодинамической системой и окружающей средой?
- 5) Что называют термодинамическим процессом, как могут протекать термодинамические процессы?
- 6) Какие процессы называются обратимыми и необратимыми?
- 7) Что такое термодинамическое равновесие? Какое состояние называется равновесным, а какое – неравновесным?

- 8) Дайте определение термодинамического цикла. Какие бывают циклы?
- 9) Какие способы передачи энергии вы знаете?
- 10) Что понимают под рабочим телом теплотехнического устройства?
- 11) Почему в техническую термодинамику введено понятие идеального газа? При каких условиях реальные газы могут приближаться по свойствам к идеальным?
- 12) Сформулируйте законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро.
- 13) Характеристическое и универсальное уравнение состояния идеального газа, характеристическая и универсальная газовая постоянная. Физический смысл, размерность.
- 14) Почему внутренняя энергия и энтальпия идеального газа зависят только от температуры?
- 15) Чем отличается истинная теплоемкость от средней?
- 16) Как изменяется теплоемкость идеального газа с увеличением температуры?
- 17) Запишите уравнение Майера.
- 18) Показатель адиабаты, как он определяется?
- 19) Сформулируйте закон Дальтона. Дайте определение парциального давления и парциального объема.
- 20) Как определить кажущуюся молекулярную массу и газовую постоянную смеси идеальных газов?
- 21) Почему теплоемкость при постоянном давлении всегда больше теплоемкости при постоянном объеме?
- 22) Что такое коэффициент сжимаемости?
- 23) Уравнение Ван-дер-Ваальса. Для чего оно создано, какие поправки в него входят и что они означают?
- 24) Какие выводы можно сделать на основании анализа корней уравнения в  $p$ - $v$  координатах? Какие области и какие пограничные кривые можно выделить на  $p$ - $v$  диаграмме, на основании анализа решений уравнения Ван-дер-Ваальса?
- 25) Что представляет собой влажный воздух? Абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, энтальпия влажного воздуха.
- 26) Как определяют основные параметры влажного воздуха с помощью  $i$ - $d$  диаграммы?
- 27) Какова формулировка и аналитическое выражение первого начала термодинамики?
- 28) Что называют вечным двигателем первого рода?
- 29) Какие параметры термодинамического процесса являются функцией состояния, а какие функцией процесса?
- 30) Почему работу изменения объема нельзя считать параметром состояния? Покажите, что работа является функцией процесса.
- 31) Почему обратимые термодинамические процессы называют идеальными? Можно ли осуществить обратимый процесс на практике? Приведите примеры необратимых термодинамических процессов.
- 32) Чему равно изменение внутренней энергии в термодинамическом цикле?
- 33) Что изображает площадь под кривой процесса на  $p$ - $v$  диаграмме?
- 34) Как в  $T$ - $S$  диаграмме по данной кривой процесса определить знак  $q$  и  $\Delta u$ ?
- 35) В каком процессе все подведенное тепло идет на совершение работы?
- 36) От каких параметров зависит внутренняя энергия идеального и реального газов?
- 37) В чем заключается физический смысл энтальпии?
- 38) Можно ли превратить всю подведенную в круговом процессе теплоту в работу?
- 39) Как связано изменение энтропии с теплотой и абсолютной температурой?
- 40) Основные формулировки второго закона термодинамики.
- 41) Что такое термический к.п.д. цикла, может ли он быть равным единице?
- 42) Опишите обратимый цикл Карно, запишите выражение для его термического к.п.д. и проанализируйте его. Можно ли создать такой тепловой двигатель, у которого термический к.п.д. цикла будет больше, чем у цикла Карно?
- 43) В чем заключается сущность теоремы Карно?
- 44) Что такое обратный цикл Карно и холодильный коэффициент?

- 45) Свойства обратимых и необратимых циклов. Интегралы Клаузиуса.
- 46) Как изменяется энтропия в замкнутой адиабатной системе, если в ней идут обратимые и необратимые процессы?
- 47) Как изменяется работоспособность и энтропия тела в необратимых процессах?
- 48) Что позволяют определить дифференциальные уравнения термодинамики?
- 49) Какие условия являются необходимыми для устойчивого равновесия термодинамической системы? Каковы условия равновесия однородной системы?
- 50) В чем заключаются условия равновесия нескольких фаз вещества? Что такое фазовый переход, фазовая диаграмма?
- 51) Фазовая P-V диаграмма.
- 52) Фазовая T-S диаграмма.
- 53) Правило фаз Гиббса.
- 54) Какие величины можно определить с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса?
- 55) К каким изменениям агрегатного состояния вещества применимо уравнение Клапейрона-Клаузиуса?
- 56) Принцип действия и цикл газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты.
- 57) Принцип действия и цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме.
- 58) Принцип действия и цикл паросиловой установки, работающей по циклу Карно.
- 59) Принцип действия и цикл паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина.
- 60) Схема и цикл паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина с перегревом пара.
- 61) Схема и цикл энергетической установки с ядерным реактором.
- 62) Обратный цикл Карно холодильной машины.
- 63) Воздушная холодильная машина.
- 64) Паровая компрессионная холодильная машина.
- 65) Тепловой насос.

## **Раздел 2. Тепломассообмен**

### **Тема 7. Основные понятия теории теплообмена**

*Лекция.* Введение в теорию тепломассообмена.

*Рассматриваемые вопросы.* Общая характеристика процессов теплотеплопереноса в теплообменных аппаратах теплотехнических устройств и изоляционных конструкциях. Фундаментальные законы, управляющие ими; способы распространения теплоты и механизм их реализации.

*Лекция.* Основные понятия теории теплообмена. Основной закон теплопроводности.

*Рассматриваемые вопросы.* Понятия, определения и математическое описание. Температурное поле, изотермическая поверхность. Тепловой поток, плотность теплового потока. Температурный градиент. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.

*Лекция.* Дифференциальное уравнение теплопроводности.

*Рассматриваемые вопросы.* Вывод дифференциального уравнения теплопроводности для нестационарного трёхмерного температурного поля. Коэффициент температуропроводности. Условия однозначности для процессов теплообмена. Закон Ньютона – Рихмана. Дифференциальное уравнение теплопроводности для стационарного одномерного температурного поля.

*Практическое занятие.* Письменный опрос.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Письменный опрос в тестовой форме по изученной теме.

*Основные понятия темы:* Способы передачи теплоты. Процесс теплопередачи. Температурное поле. Изотермическая поверхность. Температурный градиент. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Дифференци-

альное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности. Условия однозначности. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.

## **Тема 8. Отдельные задачи стационарной теплопроводности и теплопередачи**

*Лекция.* Отдельные задачи стационарной теплопроводности и теплопередачи.

*Рассматриваемые вопросы.* Перенос теплоты через плоскую однослойную (многослойную) стенку для граничных условий первого и третьего рода. Перенос теплоты через цилиндрическую однослойную (многослойную) стенку для граничных условий первого и третьего рода. Перенос теплоты через шаровую однослойную (многослойную) стенку для граничных условий первого и третьего рода. Критический диаметр тепловой изоляции.

*Практическое занятие.* Решение задач стационарной теплопроводности в плоской однослойной и многослойной стенках.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Расчёт количества тепла, передаваемого теплопроводностью в однослойной и многослойной плоских стенках при стационарном режиме и граничных условиях первого рода. Определение температурного поля в плоской стенке.

*Практическое занятие.* Решение задач стационарной теплопередачи через плоскую однослойную и многослойную стенки.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Расчёт количества тепла, передаваемого теплопередачей через однослойную и многослойную плоские стенки при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода. Определение температурного поля для плоской стенки.

*Практическое занятие.* Решение задач стационарной теплопроводности в цилиндрической однослойной и многослойной стенках.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Расчёт количества тепла, передаваемого теплопроводностью в однослойной и многослойной цилиндрических стенках при стационарном режиме и граничных условиях первого рода. Определение температурного поля в цилиндрической стенке.

*Практическое занятие.* Решение задач стационарной теплопередачи через цилиндрическую однослойную и многослойную стенки.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Расчёт количества тепла, передаваемого теплопередачей через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода. Определение температурного поля для цилиндрической стенки.

*Практическое занятие.* Подбор материала изоляции для цилиндрической поверхности.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение рекомендуемого значения коэффициента теплопроводности материала изоляционного слоя для цилиндрических поверхностей.

*Практическое занятие.* Контрольная работа.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Решение задач стационарной теплопроводности и теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки.

*Лекция.* Теплопередача через ребренную стенку.

*Рассматриваемые вопросы.* Теплопередача через плоскую ребренную стенку. Коэффициент ребрения. Распределение температур в прямом ребре. Средне логарифмический температурный напор. Коэффициент эффективности ребра. Влияние профиля сечения и формы ребра на условия распространения теплоты. Коэффициент теплоотдачи ребренной поверхности. Приведенный коэффициент теплоотдачи.

*Практическое занятие.* Расчет количества тепла, передаваемого через плоскую и цилиндрическую ребренные поверхности.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Расчет количества теплоты передаваемой теплопередачей через оребренную поверхность с учетом ее конструкции. Определение коэффициента оребрения.

*Основные понятия темы:* Перенос теплоты через плоские, цилиндрические и шаровые однослойные и многослойные стенки для граничных условий первого и третьего рода. Критический диаметр тепловой изоляции. Теплопередача через оребренную поверхность. Коэффициент оребрения. коэффициент эффективности ребра.

## **Тема 9. Нестационарная теплопроводность**

*Лекция.* Нестационарная теплопроводность.

*Рассматриваемые вопросы.* Классификация задач нестационарной теплопроводности. Постановка и результаты решения задачи охлаждения (нагрева) неограниченной пластины без внутренних источников теплоты. Определение температуры тел ограниченных размеров.

*Практическое занятие.* Расчет нестационарных процессов теплообмена.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Расчет процессов нагрева и охлаждения тел. Определение средней температуры тела и температуры в заданной характерной точке в определенный момент времени. Расчет количества теплоты времени нагрева или охлаждения.

*Основные понятия темы:* Нестационарная теплопроводность. Процессы охлаждения (нагрева) неограниченной пластины. Изменение температуры тел ограниченных размеров.

## **Тема 10. Конвективный теплообмен**

*Лекция.* Конвективный теплообмен

*Рассматриваемые вопросы.* Общие понятия и определения, свободная и вынужденная конвекция. Коэффициент теплоотдачи. Механизм переноса теплоты и количества движения в движущейся среде. Основные факторы, влияющие на интенсивность теплопередачи. Режимы движения среды. Дифференциальное уравнение теплоотдачи.

*Лекция.* Математическая постановка задач конвективного теплообмена.

*Рассматриваемые вопросы.* Уравнения энергии, движения, сплошности. Условия однозначности для задач конвективного теплообмена.

*Лекция.* Основные положения теории подобия.

*Рассматриваемые вопросы.* Подобные явления. Классификация процессов теплообмена. Условия подобия. Теоремы подобия. Методы исследования явлений конвективного теплообмена: аналитический, численный, экспериментальный. Постановка эксперимента и обобщение опытных данных методом подобия. Получение эмпирических расчетных формул.

*Лекция.* Критерии подобия.

*Рассматриваемые вопросы.* Условия гидродинамического подобия – критерии Фруда, Эйлера, Рейнольдса и Грасгофа. Условия теплового подобия – критерии Фурье, Прандтля и Нуссельта. Определяющие и определяемые критерии. Критериальные уравнения. Определяющий размер и температура. Применение теории подобия в решении задач конвективного теплообмена.

*Лекция.* Конвективный теплообмен в однофазной среде.

*Рассматриваемые вопросы.* Понятие о пограничном слое. Гидродинамическая задача при тчении жидкости вдоль пластины. Теплоотдача при вынужденном продольном обтекании пластины. Теплоотдача при вынужденном движении среды в трубах. Гидродинамический анализ, теплоотдача: при ламинарном вязкостном и вязкостно-гравитационном режиме, при переходном режиме.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при вынужденном продольном

обтекании пластины.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции при продольном обтекании пластины.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при вынужденном движении среды в трубах.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* . Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции при течении жидкости внутри труб.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при течении среды в некруглых каналах.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции при течении жидкости внутри каналов некруглого сечения. Расчет эквивалентного диаметра.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при внешнем обтекании одиночных цилиндров.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции при поперечном обтекании цилиндра.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при внешнем обтекании трубных пучков.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции при поперечном обтекании шахматного и коридорного пучков труб. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи.

*Лекция.* Теплоотдача при свободной тепловой конвекции.

*Рассматриваемые вопросы.* Теплоотдача при свободной тепловой конвекции в неограниченном пространстве: вдоль вертикальной стенки, около горизонтальных пластин и труб. Теплоотдача при свободной конвекции в ограниченном пространстве.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при свободной конвекции в неограниченном пространстве вдоль вертикальной стенки.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях свободной конвекции при движении среды вдоль вертикальной стенки.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при свободной конвекции в неограниченном пространстве около горизонтальных плоских и цилиндрических поверхностей.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях свободной конвекции при движении среды около горизонтальных пластин и труб малого и большого диаметров.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплоотдачи при свободной конвекции в ограниченном пространстве.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях свободной конвекции в ограниченном пространстве: между вертикальных параллельных пластин и в кольцевом канале.

*Лекция.* Теплообмен при кипении жидкости.

*Рассматриваемые вопросы.* Температурный напор. Режимы кипения: пузырьковый и пленочный. Механизм парообразования и теплообмена при пузырьковом кипении в большом объеме. Режимы кипения в большом объеме. Кривая кипения. Явление кризиса кипения. Обобщенное уравнение для расчета теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости в



большом объеме. Факторы, влияющие на коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объеме. Особенности теплообмена при кипении жидкости внутри труб. Структура двухфазного потока. Зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости и плотности теплового потока. Расчет теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения в условиях вынужденной конвекции в трубах. Особенности теплообмена при кипении на пучках горизонтальных труб.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплообмена при кипении жидкости в большом объеме.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости на поверхности труб и на пучках горизонтальных труб.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплообмена при кипении жидкости в ограниченном объеме.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи при кипении жидкости внутри вертикальных и горизонтальных труб.

*Лекция.* Теплообмен при конденсации пара.

*Рассматриваемые вопросы.* Общие представления о механизме конденсации пара. Виды конденсации. Решение задачи теплообмена при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке и горизонтальной трубе. Влияние различных факторов на интенсивность теплоотдачи при конденсации пара. Особенности пленочной конденсации движущего пара внутри труб. Теплоотдача при конденсации на пучке горизонтальных труб. Механизм и теплообмен при капельной конденсации.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплообмена при конденсации пара на горизонтальных цилиндрических поверхностях.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи при конденсации пара на поверхности горизонтальной одиночной трубы и горизонтальном пучке труб.

*Практическое занятие.* Расчет процесса теплообмена при конденсации пара внутри трубы.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение коэффициента теплоотдачи при конденсации пара при пленочной конденсации внутри труб.

*Практическое занятие.* Основы теплового расчета рекуперативных теплообменных аппаратов.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Графоаналитический метод определения температуры поверхности стенки аппарата и плотности теплового потока.

*Основные понятия темы:* Свободная и вынужденная конвекция. Режимы движения среды. Пограничный слой. Дифференциальное уравнение теплоотдачи. Теория подобия. Теоремы подобия. Критерии подобия. Критериальные уравнения. Конвективный теплообмен в однофазной среде. Теплоотдача при кипении и конденсации.

## **Тема 11. Основы теории массообмена**

*Лекция.* Основы теории массообмена.

*Рассматриваемые вопросы.* Определение, назначение и классификация массообменных процессов. Молекулярная, и конвективная диффузия. Концентрация массы. Поле и градиент концентрации. Первый и второй законы Фика. Коэффициент молекулярной диффузии. Термодиффузия. Дифференциальное уравнение тепломассообмена. Диффузионные критерии подобия.

*Практическое занятие.* Расчет процессов теплообмена.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение параметров процесса теплообмена между водой и влажным воздухом.

*Основные понятия темы:* Классификация процессов массообмена. Молекулярная и конвективная диффузия. Поле и градиент концентрации массы. Законы Фика. Термодиффузия. Дифференциальное уравнение теплообмена. Диффузионные критерии подобия.

## **Тема 12. Теплообмен излучением**

*Лекция.* Лучистый и сложный теплообмен.

*Рассматриваемые вопросы.* Тепловое излучение. Баланс лучистой энергии. Основные законы теплового излучения: закон Планка, закон Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа. Теплообмен излучением между двумя параллельными поверхностями и между твердыми телами произвольной формы. Сложный теплообмен.

*Практическое занятие.* Расчет процессов теплообмена при тепловом излучении.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Опрос и решение задач. Определение плотности лучистого теплового потока процессов теплообмена излучением между телами, разделенными прозрачной средой.

*Основные понятия темы:* Тепловое излучение. Сложный теплообмен. Законы Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа.

*Практическое занятие.* Коллоквиум.

*Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п.* Итоговое тестирование по материалу 2 раздела с целью выяснения уровня знаний студентов.

## **4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Самостоятельная работа студентов (СРС) включает следующие виды работ:

- проработка (углубленное изучение) лекционного материала, работа с конспектами лекций;
- работа с основной и дополнительной литературой;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к устному и письменному опросу и тестированию;
- подготовка к контрольной работе;
- чтение и проработка рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- подготовка к текущему (коллоквиум) и итоговому (промежуточной аттестации) контролю знаний по дисциплине (экзамен).

### Раздел 1.

Выполнение и защита расчетно-графической работы № 1 «Расчет и графическое построение термодинамических процессов водяного пара и влажного воздуха» (контрольная работы – для студентов заочной формы обучения).

### Раздел 2.

Выполнение и защита расчетно-графической работы № 2 «Определение коэффициента теплоотдачи при конвективном теплообмене для различных режимов вынужденной и свободной конвекции» (контрольная работы – для студентов заочной формы обучения)

Аудиторная и внеаудиторная СРС выполняется в соответствии с методическими указаниями – Сарайкина И.П. Термодинамика и теплообмен: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 73 с.

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ЭКЗАМЕН)

### 5 семестр

1. Термодинамические параметры состояния тела (системы). Интенсивные и экстенсивные параметры состояния. Удельные параметры.
2. Температура как один из основных термодинамических параметров. Шкала Цельсия и Кельвина.
3. Абсолютное давление и удельный объем как одни из основных термодинамических параметров вещества.
4. Термодинамическая система и термодинамический процесс. Состояние равновесия термодинамической системы.
5. Идеальный газ. Законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля.
6. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Газовая постоянная.
7. Закон Авогадро. Моль вещества.
8. Универсальная газовая постоянная. Постоянная Больцмана.
9. Идеальный газ. Термодинамические диаграммы идеального газа.
10. Состав смеси: массовая, мольная доля и объемная доля компонента. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона.
11. Средняя и истинная теплоемкости. Массовая, мольная и объемная теплоемкости.
12. Теплота и работа. Закон сохранения и превращения энергии.
13. Внутренняя энергия. Работа расширения.
14. Формулировки первого закона термодинамики.
15. Уравнения первого закона термодинамики.
16. Энтальпия.
17. Изохорная и изобарная теплоемкость. Уравнение Майера.
18. Уравнение первого закона термодинамики для потока.
19. Термодинамический цикл. Прямой и обратный термодинамические циклы.
20. Цикл теплового двигателя. Работа цикла.
21. Термический КПД цикла теплового двигателя.
22. Обратимые и необратимые процессы.
23. Формулировки второго закона термодинамики.
24. Цикл Карно теплового двигателя в  $p, v$ -диаграмме и в  $s, T$ -диаграмме.
25. Термический КПД цикла Карно. Теорема Карно.
26. Обратимый и необратимый термодинамические циклы. Внешняя и внутренняя необратимость.
27. Энтропия. Адиабатный обратимый процесс.
28. Изменение энтропии в процессах подвода и отвода теплоты. Изменение энтропии в необратимых процессах
29. Термический КПД обратимого и необратимого циклов Карно. Коэффициент заполнения.
30.  $s, T$ -диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в  $s, T$ -диаграмме.
31. Термодинамические свойства реальных газов.  $p, v$ -диаграмма. Фактор сжимаемости и  $z, p$ -диаграмма.
32. Фазовая  $p, T$ -диаграмма. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса.
33. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
34. Удельный объем, энтальпия и энтропия воды, влажного, сухого насыщенного и перегретого пара. Таблицы свойств водяного пара.  $s, T$ -диаграмма для водяного пара
35. Скорость истечения из суживающегося сопла. Максимальный расход и критическая скорость.
36. Зависимость скорости и расхода газа через сопло от отношения конечного и начального давлений. Сопло Лавала.

37. Схема, цикл и термический коэффициент полезного действия газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты.
38. Схема и цикл и термический коэффициент полезного действия газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме.
39. Схема и цикл паросиловой установки, работающей по циклу Карно. Термический коэффициент полезного действия.
40. Схема и цикл паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина. Термический коэффициент полезного действия.
41. Схема и цикл паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина с перегревом пара. Термический коэффициент полезного действия.
42. Зависимость величины термического коэффициента полезного действия цикла Ренкина от значений параметров водяного пара (давления в конденсаторе, начальных параметров пара на входе в турбину).
43. Схемы и циклы паросиловых установок с ухудшенным вакуумом, с противодавлением и с турбиной с отбором пара.
44. Схема и цикл энергетической установки с ядерным реактором.
45. Обратный цикл Карно холодильной машины.
46. Воздушная холодильная машина.
47. Паровая компрессионная холодильная машина.
48. Тепловой насос.
49. Пароэжекторная холодильная машина.
50. Абсорбционная холодильная машина.

#### 6 семестр

1. Основные понятия и определения теории тепломассообмена. Полный тепловой поток, удельный тепловой поток, температурное поле, градиент температур.
2. Основные виды теплообмена. Сложный теплообмен.
3. Особенности теплопроводности в газах, жидкостях, твердых телах. Закон Фурье.
4. Вывод дифференциального уравнения теплопроводности.
5. Анализ уравнения Фурье для трехмерного нестационарного температурного поля.
6. Температуропроводность тела. Физический смысл. Значения коэффициента температуропроводности для металлов, газов.
7. Частные случаи дифференциального уравнения теплопроводности.
8. Дифференциальные уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах.
9. Условия однозначности, необходимые для решения дифференциального уравнения теплопроводности.
10. Граничные условия первого и второго рода, третьего и четвертого рода.
11. Закон Ньютона - Рихмана. Физический смысл коэффициента теплоотдачи.
12. Теплопроводность через однослойную плоскую стенку при стационарном режиме и граничных условиях первого рода. Вывод формулы.
13. Теплопроводность через многослойную плоскую стенку при стационарном режиме и граничных условиях первого рода. Вывод формулы.
14. Внутреннее термическое сопротивление плоского слоя и полное термическое сопротивление многослойной плоской стенки. Температурный график изменения температуры для многослойной стенки.
15. Теплопроводность через однослойную цилиндрическую стенку. Вывод формулы. Линейная плотность теплового потока.
16. Теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку. Вывод формулы.
17. Теплопередача как сложный вид теплообмена. Примеры теплопередачи в холодильной технике.
18. Вывод формулы для расчета количества тепла при передаче через однослойную плоскую стенку при граничных условиях третьего рода.

19. Общее уравнение теплопередачи. Суммарное термическое сопротивление процесса теплопередачи. Коэффициент теплопередачи.
20. Передача тепла через многослойную плоскую стенку при граничных условиях третьего рода. Вывод формулы.
21. Передача тепла через однослойную цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода. Вывод формулы.
22. Линейное термическое сопротивление. Линейный коэффициент теплопередачи. Линейная плотность теплового потока.
23. Передача тепла через многослойную цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода. Вывод формулы.
24. Анализ формулы полного термического сопротивления для изолированного трубопровода. Критический диаметр изоляции.
25. Пути интенсификации процесса теплопередачи.
26. Теплоотдача с оребренной поверхности. Вывод формулы. Коэффициент эффективности ребра.
27. Теплопередача через оребренную поверхность. Вывод формулы. Коэффициент оребрения.
28. Конвективный теплообмен в однородной среде. Свободная и вынужденная конвекция. Коэффициент теплоотдачи. Его зависимость от различных характеристик и величин
29. Методы определения теплоотдачи - аналитический и экспериментальный. Достоинства и недостатки.
30. Теория пограничного слоя Прандтля для рассмотрения задач конвективного теплообмена.
31. Математическое описание конвективного теплообмена.
32. Основы теории подобия. Подобные явления. Однородные величины. Сходственные точки. Сходственные моменты времени. Константы подобия.
33. Критерии подобия. Определяющие критерии. Определяемые критерии.
34. Три теоремы подобия.
35. Приведение, дифференциальных уравнений, описывающих конвективный теплообмен, к безразмерному виду.
36. Основные критерии подобия. Их характеристики.
37. Определяющий размер. Определяющая температура.
38. Критериальное уравнение конвективного теплообмена в общем виде. Его анализ.
39. Частные виды критериального уравнения конвективного теплообмена для различных режимов - стационарного, свободной конвекции, вынужденной конвекции.
40. Получение с помощью эксперимента конкретного вида зависимости между определяемыми и определяющими критериями.
41. Теплоотдача при обтекании одиночных цилиндров.
42. Теплоотдача при поперечном обтекании шахматных и коридорных пучков труб.
43. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах.
44. Теплоотдача при вынужденном обтекании горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей.
45. Теплоотдача при конденсации. Капельная конденсация. Пленочная конденсация. Влияние различных факторов на значение коэффициента теплоотдачи.
46. Теплоотдача при кипении. Механизм процесса кипения. Критический радиус пузырька. Пузырьковое и пленочное кипение. Влияние различных факторов на коэффициент теплоотдачи.
47. Критериальное уравнение теплообмена при конденсации. Влияние различных факторов на теплообмен при конденсации.
48. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в трубах.
49. Теплообмен при свободном движении жидкости. Влияние направления теплового потока на эффективность теплоотдачи. Поправка Михеева.

50. Теплообмен излучением. Закон Стефана - Больцмана. Приведенный коэффициент излучения. Расчет лучистого потока между двумя параллельными поверхностями.

## 6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Основная литература*

1. Кириллин В.А. Техническая термодинамика : учебник / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шнейдлин. – 5-е изд, перераб. и доп. – М.: МЭИ, 2008. – 496 с. (1 экз.)
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с. (5 экз.)

### *Дополнительная литература*

1. Сборник задач по технической термодинамике: учеб. пособие для студентов вузов / Т.Н. Андрианова, Б.В. Дзампов, В.Н. Зубарев, С.А. Ремизов, Н.Я. Филатов. – 5-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 356 с.
2. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 196 с.
3. Техническая термодинамика: Учеб. пособие / Под. ред. проф. Э.И. Гуйго. 2-е изд. испр. и доп. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 296 с.
4. Теоретические основы хладотехники. Часть II. Тепломассообмен. Под редакцией Гуйго Э.И. М.: Колос, 1994. – 367с.
5. Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пар : справочник / А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – М.: МЭИ, 2006. – 168 с. – ч. 1.
6. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов. 4-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 287 с. (электронная версия)
7. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Свойства веществ: Справ. – М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.
8. Термодинамические свойства воздуха. /В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов и др. М.: Изд-во стандартов, 1978. – 276 с.
9. Журнал «Холодильная техника».

### *Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»*

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. URL: <http://www.elibrary.ru>;
2. Камчатский государственный университет: [сайт]. URL: <http://www.kamchatgtu.ru>;
3. <http://www.holodilshchik.ru>;
4. <http://www.alfalaval.ru>;
5. <http://www.danfoss.com/ru-ru>.

### *Методические указания*

1. Сарайкина И.П. Термодинамика и тепломассообмен: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 73 с.

## 7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины рекомендуется использовать методические указания (Сарайкина И.П. Термодинамика и тепломассообмен: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 73 с.) которые содержат:

- краткую характеристику дисциплины;
- цели и задачи изучения дисциплины;
- содержание дисциплины;

- содержание, варианты заданий и методические рекомендации по выполнению расчетно-графических работ (контрольных работ для студентов заочной формы обучения);
- перечень вопросов к промежуточной аттестации (экзамену);
- рекомендуемую литературу.

Содержание практических занятий и методические рекомендации по выполнению практических заданий по изучаемым темам также содержатся в методических указаниях по изучению дисциплины.

## **8. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)**

Не предусмотрено.

## **9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса:

- приложение Microsoft Power Point;
- текстовый редактор Microsoft Office Word.

Перечень информационно-справочных систем:

- единая информационная образовательная среда университета «ЭИОС КамчатГТУ»;
- электронная библиотечная система;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU;
- электронный каталог научно-технической библиотеки КамчатГТУ.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническая база для осуществления образовательного процесса по дисциплине, имеющаяся в распоряжении КамчатГТУ:

- для проведения занятий лекционного типа, практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, специализированная учебная аудитория 3-205 с комплектом учебной мебели;
- для самостоятельной работы обучающихся – аудитория 3-208, оборудованная комплектом учебной мебели;
- читальный зал и библиотечные каталоги научно-технической библиотеки КамчатГТУ;
- мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор).

Перечень программных продуктов, используемых при проведении различных видов занятий

- презентации в Power Point по темам курса «Термодинамические процессы идеального газа», «Термодинамические циклы теплотехнических устройств».

Дополнения и изменения в рабочей программе за \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ учебный год

В рабочую программу по дисциплине Термодинамика и тепломассообмен

для направления (ний) 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы  
специальности (тей) жизнеобеспечения»

вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес \_\_\_\_\_  
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ТМО  
(наименование кафедры)

Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Заведующий кафедрой

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г. \_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)