

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Проектирование и эксплуатация атомных станций	<b>Код ОП</b> 14.05.02/01.01 <b>Учебный план №</b> 5111
<b>Направление подготовки</b> Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг	<b>Код направления подготовки и уровня образования</b>
<b>Уровень образования</b> специалитет	14.05.02
<b>Квалификация, присваиваемая выпускнику</b> Инженер-физик	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b>
<b>ФГОС ВО</b>	17.08.2015, № 849

СОГЛАСОВАНО  
ДИРЕКЦИЯ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ПРОГРАММ

Екатеринбург, 2015

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Подпись</b>
1	Черепанова Екатерина Владимировна	канд. техн. наук, доцент	Доцент	Теплоэнергетики и теплотехники	

**Рекомендовано учебно-методическим советом Уральского энергетического института**

Председатель учебно-методического совета  
Протокол № от 201 г.

В.И.Денисенко

**Согласовано:**

Дирекция образовательных программ

Р.Х. Токарева

**Руководитель образовательной программы:**

С.Е. Щеклеин

# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА»**

## **1.1. Аннотация содержания дисциплины**

Дисциплина «Техническая термодинамика» относится к базовой части образовательной программы. Дисциплина посвящена изучению разделов термодинамики, касающихся процессов взаимопревращения теплоты и механической энергии. Излагаются основные законы термодинамики, анализируются основные термодинамические процессы идеальных и реальных газов, рассматриваются особенности термодинамического рассмотрения закономерностей в потоке вещества. На основе полученных соотношений изучается эффективность получения и использования энергии в теплоэнергетических установках различного назначения.

Дисциплина является постреквизитом дисциплин «Физика» и «Высшая математика» и необходима для изучения дисциплин «Турбомашины АЭС», «Атомные электрические станции».

## **1.2. Язык реализации программы – русский.**

## **1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у студента следующих компетенций:

ПК-17 – способность проводить нейтронно-физические и тепло-гидравлические расчеты ядерных реакторов в стационарных и нестационарных режимах работы;

ПСК-1.4 – способность выполнять теплогидравлические, нейтронно-физические и прочностные расчеты узлов и элементов проектируемого оборудования с использованием современных средств.

В результате освоения дисциплины студент должен:

### **Знать:**

- основные понятия и законы термодинамики;
- термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках;
- основные направления и перспективы развития теплоэнергетических систем;

### **Уметь:**

- пользоваться справочными данными и информационными базами по теплофизическим свойствам веществ;
- проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД;
- измерять основные параметры объекта с помощью типовых измерительных приборов, оценивать погрешности измерений;

### **Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):**

- основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определение параметров их работы, тепловой эффективности;
- навыками проведения теплотехнического эксперимента.

## 1.4.Объем дисциплины

Для очной формы обучения (учебный план № 5111)

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)	
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	4-й семестр	5-й семестр
1.	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>119</b>	<b>119</b>	<b>68</b>	<b>51</b>
2.	Лекции	85	85	51	34
3.	Практические занятия	17	17	17	0
4.	Лабораторные работы	17	17	0	17
5.	<b>Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации</b>	<b>169</b>	<b>20,85</b>	<b>94</b>	<b>75</b>
6.	<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b>	<b>4,66</b>	<b>Экзамен, 18</b>	<b>Экзамен, 18</b>
7.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	<b>324</b>	<b>143,51</b>	<b>180</b>	<b>144</b>
8.	<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>	<b>9</b>		<b>5</b>	<b>4</b>

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код разделов и тем	Раздел, тема дисциплины	Содержание
<b>P1</b>	Введение. Основные понятия термодинамики	Предмет и метод термодинамики. Термодинамическая система. Термодинамическое состояние. Термодинамический процесс. Внутренняя энергия, работа, теплота, теплоемкость
<b>P2</b>	Основные законы термодинамики	I закон термодинамики. Энтальпия термодинамической системы и внешняя работа. II закон термодинамики. Различные формулировки второго закона термодинамики (Томсона, Клаузиуса, Каратеодори).Энтропия, принцип возрастания энтропии. III закон термодинамики.
<b>P3</b>	Дифференциальные уравнения термодинамики	Уравнения для первого закона термодинамики, внутренней энергии и энтальпии, энтропии и теплоемкости. Закон Джоуля. Формула Майера. Вычисление термодинамических функций.
<b>P4</b>	Основные термодинамические процессы	Политропный процесс. Частные случаи политропного процесса. Обобщающее значение политропного процесса.
<b>P5</b>	Термодинамика потока	Основные законы термодинамики для потока. Методы описания и основные законы для потока вещества. Уравнение баланса механической энергии. Скорость звука. Число Маха. Режимы течения. Принцип обращения воздействия. Сопло и диффузор. Типы сопел. Термодинамика геометрического сопла. Адиабатическое торможение потока. Дросселирование.

<b>P6</b>	Термодинамика систем с переменным числом частиц	Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Термодинамика фазовых переходов. Реальные газы (водяной пар). Основные термодинамические процессы воды и водяного пара. Расчет процессов при помощи таблиц и диаграмм.
<b>P7</b>	Влажный воздух	Термодинамические свойства, h-d диаграмма и расчет процессов влажного воздуха.
<b>P8</b>	Основы химической термодинамики	Законы химической термодинамики. Закон Гесса. Закон действующих масс. Равновесный состав продуктов реакции.
<b>P9</b>	Термодинамика циклов. Основные законы и понятия для циклов	Прямые и обратные циклы. Первый и второй законы термодинамики для циклов тепловых двигателей. Термический КПД цикла. Цикл Карно. Теоремы Карно. Регенерация теплоты. Обобщенный цикл Карно.
<b>P10</b>	Газовые циклы	Циклы двигателей внутреннего сгорания с изохорным, изобарным и смешанным подводом теплоты. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Термодинамический анализ работы компрессора. Циклы прямого турбореактивного и ракетного двигателей.
<b>P11</b>	Циклы паротурбинных установок	Цикл Карно в области влажного пара. Цикл Ренкина. Промежуточный перегрев пара в цикле паротурбинной установки (ПТУ), регенерация теплоты и теплофикация в циклах ПТУ. КПД реальных циклов. Особенности циклов АЭС. Бинарные циклы.
<b>P12</b>	Обратные циклы	Обратный цикл Карно. Принципиальные схемы и расчет воздушной и парокомпрессорной холодильных установок. Рабочие тела парокомпрессорных холодильных установок. Циклы тепловых насосов и трансформаторов теплоты.
<b>P13</b>	Эксергия термодинамических систем	Определение эксергии. Эксергия теплоты термодинамического процесса, неподвижного рабочего тела и вещества в потоке. Эксергетический анализ необратимых процессов. Эксергетический анализ циклов.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

#### 3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины



## 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 4.1. Лабораторные работы

Для очной формы обучения (учебный план № 5111)

Код раздела, темы	Номер работы	Наименование работы	Время на выполнение работы (час.)
P1	1	Определение теплоёмкости воздуха при постоянном давлении	4
P4	2	Определение показателя адиабаты воздуха методом Клемона – Дезорма	2
P5	3	Определение скорости звука в газах и показателя адиабаты методом стоячей волны	3
P6	4	Определение зависимости между температурой и давлением насыщенного водяного пара при низких давлениях	4
P6	5	Определение удельной теплоты парообразования воды	4

**Всего: 17**

### 4.2. Практические занятия

Для очной формы обучения (учебный план № 5111)

Код раздела, темы	Номер занятия	Наименование работы	Время на проведение занятия (час.)
P2	1	Основные законы термодинамики	1
P4	2	Основные термодинамические процессы	2
P5	3	Термодинамика потока	2
P6	4	Термодинамика систем с переменным числом частиц	2
P7	5	Влажный воздух	2
P10	6	Газовые циклы	2
P11	7	Циклы паротурбинных установок	2
P12	8	Обратные циклы	2
P13	9	Эксергия термодинамических систем	2

**Всего: 17**

### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

#### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

Домашняя работа №1: Политропный процесс идеального газа.

Домашняя работа №2: Истечения газа из сопла.

Домашняя работа №3: Процессы нагрева и сушки влажного воздуха.

#### 4.3.2. Примерный перечень тем графических работ

Не предусмотрено.

#### 4.3.3. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено.

#### 4.3.4 Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено.

#### 4.3.5 Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)

Не предусмотрено.

#### 4.3.6 Примерный перечень тем расчетно-графических работ

Не предусмотрено.

#### 4.3.7 Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)

Термодинамический расчет цикла паротурбинной установки с отбором пара на теплофикацию.

#### 4.3.8 Примерная тематика контрольных работ

Контрольная работа №1: Основные законы термодинамики.

Контрольная работа №2: Основные термодинамические процессы.

Контрольная работа №3: Основные законы для циклов. Цикл Карно.

Контрольная работа №4: Обратные циклы.

Контрольная работа №5: Эксергия термодинамических систем.

#### 4.3.9 Примерная тематика коллоквиумов

Не предусмотрено.

### 5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения						Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение					
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
P11. Циклы паротурбинных установок	*											

### 6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ (Приложение 1)

### 7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ (Приложение 2)

### 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 3)

### 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ



## **9.1.Рекомендуемая литература**

### **9.1.1.Основная литература**

1. Техническая термодинамика. В 2 ч. Ч. 1: учебное пособие / А.В. Островская, Е.М. Толмачёв, В.С. Белоусов, С.А. Нейская. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2010. 155 с. – 44 экз.
- 2.Техническая термодинамика: учебное пособие. В 2 ч. Ч.2 / А.В.Островская, Е.М.Толмачев, В.С.Белоусов, С.А.Нейская. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 106 с. – 60 экз.
3. В.Н. Королёв, Е.М. Толмачёв. Техническая термодинамика / учебное пособие. Изд. 2-е. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. – 180 с. – 74 экз.

### **9.1.2.Дополнительная литература**

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин С.А. Техническая термодинамика. - М.: Наука, 1991.- 512 с. – 65 экземпляров в учебном фонде.
2. Теплотехника. Учебник для втузов/ Под общей редакцией А.М.Архарова и В.Н.Афанасьева. М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 712 с. – 40 экземпляров в учебном фонде.
3. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. – М: Изд-во МЭИ,2004.- 158 с. – 92 экземпляра в учебном фонде.
- 4.Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – М.: Изд-во МЭИ.2003– 168 с. – 65 экземпляров в учебном фонде.
5. Сборник задач по технической термодинамике /Андрианова Т.М., Дзампов Б.В., Зубарев В.Н, Ремизов С.А. М.: Энергоатомиздат, 1981. - 240 с. – 42 экземпляра в учебном фонде.

## **9.2.Методические разработки**

1. Термодинамические свойства некоторых жидкостей, газов и газовых смесей. Справочно-информационные материалы / Белоусов В.С., Жилкин Б.П., Нейская С.А., Островская А.В., Ясников Г.П. Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. Екатеринбург. – 2009.
2. Методические указания к лабораторным работам / Толмачев Е.М., Белоусов В.С., Жилкин Б.П., Островская А.В., Ясников Г.П. Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. Екатеринбург. – 2006.

## **9.3.Программное обеспечение**

Операционная система Windows XP.

Пакет Microsoft Office 2010 Professional (текстовый процессор Word, табличный процессор Excel).

## **9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Зональная научная библиотека УрФУ <http://lib.urfu.ru/>

2. Информационно-аналитическая система для хранения и распространения библиографических и численных данных о теплофизических свойствах веществ «Информационный триптих теплофизических свойств веществ» [www.thermophysics.ru/triptych](http://www.thermophysics.ru/triptych)

3. Информационно-справочная система WaterSteamPro.

## **9.5.Электронные образовательные ресурсы**

*Белоусов В.С., Нейская С.А., Ширяева Н.П., Ясников Г.П.* Термодинамические свойства и процессы влажного воздуха. [Электронный ресурс] <http://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/189>.

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Для проведения лабораторных занятий имеется аудитория Т-127, рассчитанная на проведение лабораторных занятий 12 студентами.

Лабораторные стенды:

Определение изобарной теплоемкости воздуха методом проточного калориметра
Определение показателя политропы графическим способом
Определение показателя адиабаты методом Кленорма-Дезорма
Исследование зависимости давления насыщения водяного пара от температуры
Определение скрытой теплоты парообразования воды
Определение скорости звука в воздухе

к рабочей программе дисциплины «Техническая термодинамика»  
**6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ  
 В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

6.1. Весовой коэффициент значимости дисциплины –

6.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Для очной формы обучения (учебный план № 5111)

**IV Семестр**

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,5</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Макс. оценка в баллах</b>
Контрольная работа №1	IV, 3	30
Контрольная работа №2	IV, 6	30
Контрольная работа №3	IV, 16	40
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0,4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – зачет*</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0,6</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0,5</b>		
<b>Текущая аттестация на практических / семинарских занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Выполнение домашней работы №1	IV, 7	30
Выполнение домашней работы №2	IV, 10	30
Выполнение домашней работы №3	IV, 13	40
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям – 1,0</b>		
<b>Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям – не предусмотрена</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям – 0</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – 0</b>		
<b>Текущая аттестация на лабораторных занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям – 1,0</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – не предусмотрена</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – 0</b>		

### V Семестр

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0,5</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Макс. оценка в баллах</b>
Контрольная работа №4	V, 6	50
Контрольная работа №5	V, 15	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0,4</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лекциям – экзамен*</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0,6</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий – 0,5</b>		
<b>Текущая аттестация на лабораторных занятиях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
Отчеты по лабораторным работам	V, 16	100
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям – 1,0</b>		
<b>Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – не предусмотрена</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – 0</b>		

#### 6.3. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы

<b>Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Макс. оценка в баллах</b>
Выполнение расчетной части	V, 1-8	80
Выполнение графической части	V, 10-16	20
<b>Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта – 0,5</b>		
<b>Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта – защиты – 0,5</b>		

#### 6.4. Коэффициент значимости семестровых результатов освоения дисциплины

<b>Порядковый номер семестра по учебному плану, в котором осваивается дисциплина</b>	<b>Коэффициент значимости результатов освоения дисциплины в семестре</b>
Семестр IV	0,4
Семестр V	0,6

## **7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ**

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте ФЭПО <http://fepo.i-exam.ru>.

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на сайте Интернет-тренажеры <http://training.i-exam.ru>.

Дисциплина и ее аналоги, по которым возможно тестирование, отсутствуют на портале СМУДС УрФУ.

В связи с отсутствием Дисциплины и ее аналогов, по которым возможно тестирование, на сайтах ФЭПО, Интернет-тренажеры и портале СМУДС УрФУ, тестирование в рамках НТК не проводится.

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ В РАМКАХ БРС

В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений студентов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания, как и при проведении промежуточной аттестации по модулю, опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Студент демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Студент может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Студент умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Студент имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Студент имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Студент имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность,

## 8.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ

При проведении независимого тестового контроля как формы промежуточной аттестации применяется методика оценивания результатов, предлагаемая разработчиками тестов. Процентные показатели результатов независимого тестового контроля переводятся в баллы промежуточной аттестации по 100-балльной шкале в БРС:

- в случае балльной оценки по тесту (блокам, частям теста) переводится процент набранных баллов от общего числа возможных баллов по тесту;
- при отсутствии балльной оценки по тесту переводится процент верно выполненных заданий теста, от общего числа заданий.

## 8.3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.3.1. Примерные задания для проведения контрольных работ в рамках учебных занятий

#### *Контрольная работа №1.*

1. По трубопроводу течет газ, объемным расходом  $20 \text{ м}^3/\text{мин}$  при температуре  $15^\circ \text{С}$  и давлении 10 бар. Найти расход этого газа при нормальных физических условиях.

2. В баллоне объемом  $1 \text{ м}^3$  находится кислород под давлением 50 бар и при температуре  $27^\circ \text{С}$ . Какая масса кислорода была израсходована из баллона, если давление в нем упало до 25 бар, а температура до  $17^\circ \text{С}$ .

3. Имеются два баллона, заполненные водородом. В первом баллоне, объемом 50 л, абсолютное давление 5 ат и температура  $77^\circ \text{С}$ . Во втором баллоне, объемом 100 л, абсолютное давление 1 ат и температура  $27^\circ \text{С}$ . После соединения баллонов устанавливается температура  $61^\circ \text{С}$ . Определить давление после соединения баллонов.

4. Определить теплоту, необходимую для нагрева смеси газов массой 5 кг при постоянном давлении от температуры  $40^\circ \text{С}$  до температуры  $800^\circ \text{С}$ , если смесь газов имеет следующий массовый состав: 20 % – азот  $\text{N}_2$ ; 80 % – углекислый газ  $\text{CO}_2$ . При расчетах:

- 1) учесть зависимость теплоемкости от температуры;
- 2) теплоемкости  $c_v$  и  $c_p$  вычислить методами молекулярно-кинетической теории.

Сравнить полученные результаты, определив относительную погрешность вычисления тепла.

5. Зависимость мольной изобарной теплоемкости газообразного фосфата кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  от температуры выражается уравнением

$$\mu c_p(T) = 203,3 + 170,1 \cdot 10^{-3} T - 26,11 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{К}).$$

Найти значение мольной изобарной теплоемкости этого газа в интервале температур от 600 К до 900 К.

#### *Контрольная работа №2.*

1. 1 кг воздуха сжимается по политропе с показателем  $n = 0,8$  от давления 1 бар до давления 5 бар. Начальная температура воздуха  $227^\circ \text{С}$ .

Найти параметры воздуха ( $p, v, T$ ) в начале и в конце процесса, удельные теплоту, работу изменения объема и внешнюю полезную работу, удельное изменение термодинамических

функций состояния – внутренней энергии, энтальпии, энтропии. Изобразить процесс в диаграммах  $p-v$  и  $T-s$ . Теплоемкости воздуха  $C_p, C_v$  считать постоянными.

2. Трехатомный газ, занимающий при давлении 2 бара и температуре  $40^\circ\text{C}$  объем  $2\text{ м}^3$ , сжат до объема  $0,5\text{ м}^3$ , давление при этом стало равным 11 бар. Определить показатель политропы процесса сжатия, а также конечную температуру газа, теплоту и работу процесса.

3. Каким значениям показателя политропы соответствуют процессы с отрицательной теплоемкостью?

#### *Контрольная работа №3.*

1. К соплам газовой турбины подводятся продукты сгорания с параметрами  $p_1=10$  бар и  $t_1=600^\circ\text{C}$ . Давление за соплами  $p_0=1,2$  бар. Расход газа через одно сопло  $0,4\text{ кг/с}$ . Определить тип сопла и его геометрические размеры (диаметры выходного отверстия и горловины сопла). Считать, что рабочее тело обладает свойствами воздуха.

2. Воздух с начальным давлением  $p_1=15$  бар и температурой  $t_1=100^\circ\text{C}$  истекает через суживающееся сопло  $d=12\text{ мм}$  в среду с давлением  $p_0=2$  бара. Определить действительные скорость истечения и секундный расход воздуха через сопло, если скоростной коэффициент сопла  $\varphi=0,8$ .

3. Определить при помощи диаграммы  $h-s$  температуру насыщения и теплоту парообразования при давлении 10 бар. Сравнить полученные результаты с табличными величинами.

#### *Контрольная работа №4.*

1. Воздушная холодильная установка имеет холодопроизводительность  $\dot{Q}_x=100\text{ МДж/ч}$ . Параметры воздуха на входе в компрессор (см. рис.):  $p_1=1$  бар и  $t_1=-5^\circ\text{C}$ . После сжатия воздух имеет давление  $p_2=5$  бар. Температура воздуха после охладителя  $t_3=22^\circ\text{C}$ . Определить параметры воздуха в характерных точках цикла, удельную холодопроизводительность установки, затраченную в цикле работу, холодильный коэффициент, расход воздуха, мощности привода компрессора и детандера.

2. Парокомпрессорная холодильная установка работает с использованием фреона R-22. В компрессоре холодильной установки сжимается влажный пар. Температура рабочего тела в испарителе холодильной камере  $t_1=-10^\circ\text{C}$ . Температура конденсации пара в охладителе  $t_3=20^\circ\text{C}$ . Холодопроизводительность установки  $\dot{Q}_x=100\text{ кВт}$ .

3. Определить параметры и функции рабочего тела в характерных точках цикла, воспользовавшись диаграммой  $(\lg p-h)$  для фреона R-22. Найти удельную холодопроизводительность установки; теплоту, отдаваемую окружающей среде; затраченную в цикле работу; холодильный коэффициент установки; расход холодильного агента и мощность привода компрессора.

#### *Контрольная работа №5.*

1. Вычислить эксергию азота, находящегося в 50-литровом баллоне под давлением 40 бар при температуре окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ . Давление окружающей среды 0,95 бар. Азот можно считать идеальным газом, а его теплоемкость определять по классической теории.

2. Вычислить эксергетическую мощность потока воздуха из сопла Лаваля с диаметром выходного сечения 20 мм, если давление воздуха перед соплом 6 бар, температура  $150^\circ\text{C}$ . Воздух вытекает в окружающую среду с давлением 1 бар и температурой  $10^\circ\text{C}$ . Воздух можно считать идеальным газом, а его теплоемкость определять по классической теории. Процесс истечения адиабатный.

3. Дымовые газы в поверхностном теплообменном аппарате охлаждаются от  $300$  до  $100^\circ\text{C}$ . Расход воздуха  $3000\text{ м}^3/\text{час}$  при нормальных физических условиях. Средняя удельная



теплоемкость дымовых газов при постоянном давлении в интервале температур 100 – 300° С равна 1,14 кДж/(кг·К). Определить эксергетическую мощность передаваемого теплового потока. Потерями теплоты пренебречь. Процесс охлаждения считать изобарным.

### 8.3.2. Примерные домашние задания

#### Домашняя работа №1

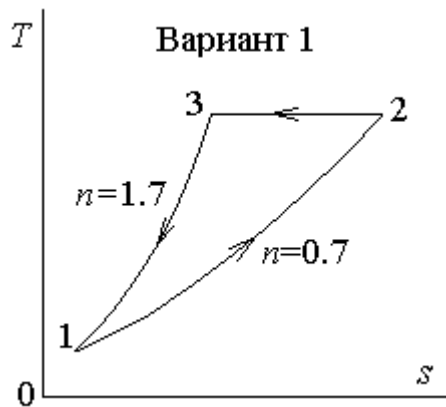
Вычислить количество теплоты  $Q$ , необходимое для нагрева заданной смеси газов в интервале температур ( $t_a \div t_b$ ) с учётом зависимости теплоёмкости от температуры.

Вариант	Группа _____ Фамилия И.О.	Процесс	Массовый состав смеси		$t_a, ^\circ\text{C}$	$t_b, ^\circ\text{C}$
			Газ, М, кг	Газ, М, кг		
1		$v=\text{const}$	CO <sub>2</sub> , 10 кг	SO <sub>2</sub> , 25 кг	70	820
2		$p=\text{const}$	N <sub>2</sub> O, 5 кг	SO <sub>2</sub> , 10 кг	10	650
3		$p=\text{const}$	N <sub>2</sub> , 50 кг	H <sub>2</sub> , 100 кг	10	640
4		$v=\text{const}$	CO, 20 кг	N <sub>2</sub> , 80 кг	90	925
5		$p=\text{const}$	CH <sub>4</sub> , 100 кг	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , 100 кг	10	230
6		$p=\text{const}$	SO <sub>2</sub> , 10 кг	N <sub>2</sub> , 15 кг	20	240
7		$p=\text{const}$	H <sub>2</sub> , 1 кг	N <sub>2</sub> , 5 кг	30	250
8		$v=\text{const}$	N <sub>2</sub> , 10 кг	O <sub>2</sub> , 12 кг	25	740
9		$v=\text{const}$	CO <sub>2</sub> , 40 кг	Воздух, 60 кг	10	230
10		$v=\text{const}$	CH <sub>4</sub> , 20 кг	Воздух, 80 кг	15	335
11		$p=\text{const}$	H <sub>2</sub> , 10 кг	O <sub>2</sub> , 15 кг	45	175
12		$v=\text{const}$	CO, 20 кг	N <sub>2</sub> , 30 кг	60	435
13		$v=\text{const}$	N <sub>2</sub> , 1 кг	O <sub>2</sub> , 1.5 кг	150	620
14		$v=\text{const}$	CO, 16 кг	N <sub>2</sub> , 24 кг	25	315
15		$p=\text{const}$	SO <sub>2</sub> , 35 кг	N <sub>2</sub> , 15 кг	225	825
16		$v=\text{const}$	CO, 14 кг	O <sub>2</sub> , 26 кг	115	440
17		$p=\text{const}$	H <sub>2</sub> , 1 кг	N <sub>2</sub> , 5 кг	30	250
18		$v=\text{const}$	N <sub>2</sub> , 10 кг	O <sub>2</sub> , 12 кг	25	740
19		$p=\text{const}$	CH <sub>4</sub> , 1.6 кг	Воздух, 2.4 кг	25	925
20		$v=\text{const}$	CO <sub>2</sub> , 40 кг	Воздух, 60 кг	10	230
21		$p=\text{const}$	SO <sub>2</sub> , 8 кг	O <sub>2</sub> , 12 кг	0	925
22		$v=\text{const}$	CH <sub>4</sub> , 20 кг	Воздух, 80 кг	15	335
23		$p=\text{const}$	H <sub>2</sub> , 10 кг	O <sub>2</sub> , 15 кг	45	175
24		$v=\text{const}$	CH <sub>4</sub> , 1.8 кг	CO <sub>2</sub> , 2.2 кг	35	425
25		$p=\text{const}$	SO <sub>2</sub> , 25 кг	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , 40 кг	15	360
26		$v=\text{const}$	CO, 20 кг	N <sub>2</sub> , 80 кг	100	435
27		$p=\text{const}$	SO <sub>2</sub> , 35 кг	N <sub>2</sub> , 15 кг	200	825
28		$v=\text{const}$	CO, 1.5 кг	CO <sub>2</sub> , 5.0 кг	20	340
29		$p=\text{const}$	CH <sub>4</sub> , 2 кг	Воздух, 8 кг	25	615
30		$v=\text{const}$	N <sub>2</sub> , 1 кг	O <sub>2</sub> , 1.5 кг	150	620

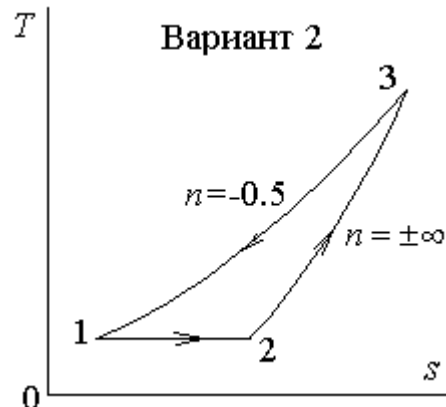
#### Домашняя работа №2

Во всех вариантах задач этого раздела задаётся замкнутая группа (цикл) из трёх или четырёх процессов для того или иного газа, который следует считать идеальным с теплоёмкостями  $c_v$  и  $c_p$ , вычисляемыми методами молекулярно-кинетической теории.

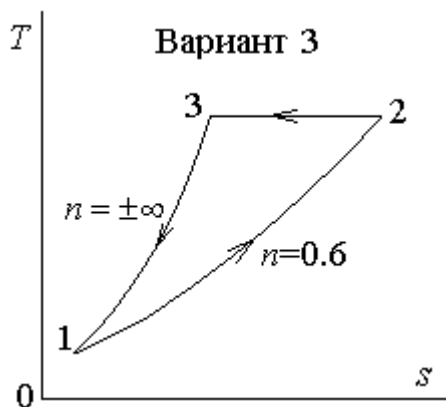
В ходе решения задач необходимо перестроить заданную группу процессов из одной диаграммы в другую (из  $p - v$  в  $T - s$  или из  $T - s$  в  $p - v$ ), указать знаки теплоты, работы и изменения внутренней энергии для каждого из процессов ( $q, l, \Delta u$ ) и провести численные расчёты, указанные в задании.



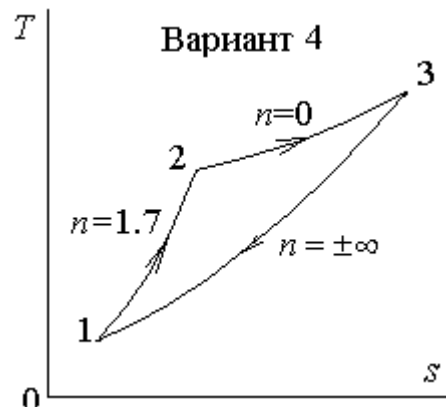
Дано: Газ – воздух  
 $t_1=10^\circ\text{C}$ ;  $p_1=1$  бар;  $p_3=5$  бар  
 Найти:  $\Delta s_{2-3}$



Дано: Газ – кислород  $\text{O}_2$   
 $p_1=10$  бар;  $p_2=1$  бар  
 Найти:  $\Delta s_{1-2}$



Дано: Газ – воздух  
 $p_2 = 1$  бар;  $p_3 = 10$  бар  
 Найти:  $\Delta s_{2-3}$



Дано: Газ – воздух  
 $t_2=100^\circ\text{C}$ ;  $t_3=300^\circ\text{C}$   
 Найти:  $\Delta s_{2-3}$

### Домашняя работа №3

Идеальный газ с параметрами  $p_1$ ,  $t_1$  поступает в сопло, через которое он вытекает в среду с давлением  $p_0$ . Скоростной коэффициент сопла  $\Phi$ , минимальное сечение сопла  $f_{\min}$ . Исходные данные взять из табл. 1.

Выбрать тип сопла (суживающееся или сопло Лавая), обеспечивающего полное расширение потока до давления среды  $p_0$  и дать его принципиальную схему (продольный разрез).

Изобразить процесс течения газа в сопле в диаграмме  $T - s$  (без масштаба).

### Исходные данные задания

Группа _____ Фамилия И.О.	Вариант	Газ	$t_1$ , °С	$p_1$ , бар	$p_0$ , бар	$\Phi$	$f_{\min}$ , см <sup>2</sup>
	1	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	20	2.0	1.0	0.88	1.00
	2	Ацетилен C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	18	5.0	1.0	0.87	0.75
	3	Метан CH <sub>4</sub>	50	1.5	1.0	0.92	0.80
	4	Кислород O <sub>2</sub>	100	5.0	2.0	0.95	0.10
	5	Водород H <sub>2</sub>	0	2.0	0.5	0.96	0.50
	6	Азот N <sub>2</sub>	13	10.0	3.0	0.87	1.00
	7	Гелий He	27	10.0	1.0	0.86	0.06
	8	Воздух	107	6.0	1.0	0.85	2.00
	9	Углекислый газ CO <sub>2</sub>	150	3.0	2.0	0.85	1.50
	10	Окись углерода CO	32	1.2	0.8	0.88	0.01
	11	Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	45	8.0	1.5	0.94	0.02
	12	Закись азота N <sub>2</sub> O	27	10.0	6.0	0.90	0.05
	13	Аргон Ar	127	15.0	5.0	0.87	0.60
	14	Неон Ne	50	15.0	12.0	0.95	0.08
	15	Гелий He	75	5.0	1.0	0.86	0.04
	16	Углекислый газ CO <sub>2</sub>	175	3.0	2.0	0.85	1.00
	17	Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	27	2.0	1.5	0.88	0.10
	18	Ацетилен C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	17	6.0	1.0	0.87	0.80
	19	Метан CH <sub>4</sub>	80	1.5	1.0	0.92	0.08

### 8.3.3. Примерные задания на курсовую работу

Теплофикационная установка работает по циклу Ренкина с одним промежуточным перегревом, с одним регенеративным отбором в теплообменник смешивающего типа и с одним отбором на теплофикацию. Рассчитать установку при следующих заданных величинах (см. таблицу).

При проведении расчёта представить следующие результаты:

1. Схему установки с обозначением её основных элементов и состояний рабочего тела (воды H<sub>2</sub>O) в цикле.

2. Расчёт с помощью таблиц термодинамических свойств водяного пара или с помощью диаграммы состояния "энтальпия – энтропия" для водяного пара следующих величин:

а) параметры состояния в характерных точках цикла  $(p_i, t_i, h_i, s_i, x_i)$ ;

б) абсолютные значения массового расхода пара:

- полный расход пара в установке  $D$ , кг/с;
- расход пара в отбор на регенерацию  $D_{\text{рег}}$ , кг/с;
- расход пара в отбор на теплофикацию  $D_{\text{тф}}$ , кг/с;

и доли отбора на регенерацию  $\alpha_{\text{рег}}$  и на теплофикацию  $\alpha_{\text{тф}}$ ;

с) эксплуатационные показатели установки:

- коэффициент использования тепла пара  $k_{\text{тп}}$ ;
- коэффициент использования тепла топлива  $k_{\text{тт}}$ ;
- коэффициент теплофикации  $k_{\text{тф}}$ ;

д) удельный расход пара  $d$ , кг/кДж и кг/кВт-час, удельный расход топлива  $b$ , кг<sub>т</sub>/кВт-час, полный расход топлива  $B$ , кг<sub>т</sub>/с, массовый расход охлаждающей воды в конденсаторе  $M$ , кг<sub>в</sub>/с.

3. Изобразить (без масштаба) цикл рассчитанной паросиловой установки в диаграмме  $T - s$ .

Варианты задания

Параметры установки	Обозначение, размерность	Вариант				
		1	2	3	4	5
Давление острого пара	$p_1$ , бар	90	100	110	120	130
Температура острого пара	$t_1$ , °C	550	580	600	620	650
Давление вторичного перегрева	$p_a$ , бар	60	65	70	75	80
Температура вторичного перегрева	$t_b$ , °C	540	570	580	600	620
Давление регенеративного отбора	$p_{\text{рег}}$ , бар	15	18	20	22	25
Давление отбора на теплофикацию	$p_{\text{тф}}$ , бар	6	8	10	12	15
Температура конденсата после бойлера	$t_k$ , °C	140	150	160	170	180
Давление в конденсаторе	$p_2$ , бар	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
Электрическая мощность установки	$N$ , МВт	200	250	300	350	400
Тепловая нагрузка	$Q_{\text{тф}}$ , Гкал/час	50	60	70	80	90
Теплотворная способность топлива	$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ , МДж/кг <sub>т</sub>	30	32	35	38	40
Относительный внутренний КПД турбины	$\eta_{\text{oi}}^{\text{т}}$	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97
КПД парогенератора	$\eta_{\text{пг}}$	0.92	0.94	0.95	0.93	0.95
КПД тепловых сетей	$\eta_{\text{тс}}$	0.85	0.82	0.88	0.82	0.85
Нагрев охлаждающей воды в конденсаторе	$\Delta t_{\text{в}}$ , °C	15	15	15	15	15

#### 8.3.4. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Термодинамическая система. Параметры состояния и уравнение состояния. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа.
2. Теплоемкость. Факторы, влияющие на теплоемкость. Классическая и квантовая теории теплоемкости.
3. Работа и теплота. Вычисление количеств работы и теплоты в термодинамике.
4. Первое начало термодинамики. Математическое выражение первого начала термодинамики.
5. Внутренняя энергия. Вычисление внутренней энергии идеального газа.
6. Энтальпия термодинамической системы. Полезная внешняя работа.
7. Второе начало термодинамики в формулировках Клаузиуса и Томсона. Вечный двигатель второго рода.
8. Закон Джоуля. Соотношение Майера.
9. Политропный процесс. Уравнение политропного процесса в координатах  $p-v$ . Показатель политропы. Политропный процесс идеального газа.
10. Частные случаи политропного процесса. Расчёт, изображение на термодинамических диаграммах адиабатического, изотермического, изобарного и изохорного процессов идеального газа.
11. Термодинамика потока. Основные законы термодинамики для потока. Скорость звука. Число Маха. Термодинамика геометрического сопла. Дросселирование.
12. Прямые и обратные термодинамические циклы. I и II законы термодинамики для цикла. Термический КПД цикла. Среднеинтегральные температуры подвода и отвода теплоты.
13. Цикл Карно. Термический КПД цикла Карно. Теоремы Карно. Регенерация теплоты, обобщенный цикл Карно.
14. Циклы ДВС с изобарным и изохорным подводом теплоты. Расчёт термического КПД. Графическое сравнение циклов.
15. Термодинамический анализ работы компрессора. Выбор оптимального отношения давлений в многоступенчатом компрессоре.
16. Цикл ГТУ  $p=\text{const}$ . Расчёт его термического КПД. Цикл ГТУ  $p=\text{const}$  с учётом потерь в компрессоре и в турбине. Относительные внутренние КПД компрессора и турбины. Расчёт термического КПД цикла. Цикл ГТУ с многоступенчатым сжатием и расширением.
17. Первый закон термодинамики для систем с переменной массой. Химический потенциал. Фазовая диаграмма  $p-t$ .
18. Условия термодинамического равновесия двухфазной системы. Правило фаз Гиббса.
19. Вычисление параметров влажного пара. Степень сухости.
20. Изобарный процесс водяного пара. Расчёт процесса. Изображение процесса в диаграммах  $p-v$ ,  $T-s$ ,  $h-s$ .
21. Простейшая схема паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина. Диаграмма  $T-s$  цикла.
22. Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $T-s$  и  $h-s$ .
23. Цикл Ренкина с отбором пара на регенерацию. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $T-s$  и  $h-s$ .
24. Теплофикационный цикл Ренкина с противодавлением. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $T-s$  и  $h-s$ .
25. Цикл Ренкина с отбором пара на теплофикацию. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $T-s$  и  $h-s$ .

- 26. Бинарный и парогазовый циклы.
- 27. Учет необратимых потерь в цикле Ренкина. Система КПД.
- 28. Циклы воздушной и парокompрессорной холодильных установок. Холодильный коэффициент.
- 29. Тепловые насосы и трансформаторы теплоты. Отопительный коэффициент и коэффициент трансформации теплоты.

**8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации**

Не используются

**8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля**

Не используются.

**8.3.8. Интернет-тренажеры**

Не используются.

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Номер листа изменений	Номер протокола заседания проектной группы модуля	Дата заседания	Всего листов в документе	Подпись ответственного за внесение изменений