

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета \_\_\_\_\_ Бурковский А.В.  
«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Техническая термодинамика»

**Направление подготовки** 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**Профиль** Промышленная теплоэнергетика

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 11 м.

**Форма обучения** очная / заочная

**Год начала подготовки** 2018

Автор программы

/Дубанин В.Ю./

Заведующий кафедрой  
Теоретической и  
промышленной  
теплоэнергетики

/Портнов В.В./

Руководитель ОПОП

/Дахин С.В./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины – приобретение основных навыков термодинамических инженерных расчетов.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение фундаментальных законов осуществления тепловых процессов; изучение термодинамических методов анализа замкнутых и разомкнутых теплотехнических процессов разного назначения; получение практических навыков определения термодинамических характеристик процессов с одно- и двухфазными рабочим телами и теплоносителями постоянного и переменного состава.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Техническая термодинамика» относится к дисциплинам базовой части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Техническая термодинамика» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2 - Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

ОПК-5 - Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-2	Знать законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках
	Уметь проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД
	Владеть основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности
ОПК-5	Знать калорические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям

	Уметь выбирать средства измерения, проводить измерения неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники
	Владеть навыками применения измерительных средств и теплотехнического оборудования

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Техническая термодинамика» составляет 10 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		2	3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	180	90	90
В том числе:			
Лекции	72	36	36
Практические занятия (ПЗ)	90	36	54
Лабораторные работы (ЛР)	18	18	-
<b>Самостоятельная работа</b>	144	90	54
<b>Курсовой проект</b>	+		+
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	360	180	180
зач.ед.	10	5	5

**заочная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		2	3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	32	24	8
В том числе:			
Лекции	12	8	4
Практические занятия (ПЗ)	12	8	4
Лабораторные работы (ЛР)	8	8	-
<b>Самостоятельная работа</b>	315	152	163
<b>Курсовой проект</b>	+		+
Часы на контроль	13	4	9
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	360	180	180
зач.ед.	10	5	5

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Предмет изучения термодинамики. Краткие исторические сведения о развитии термодинамики как науки. Особенности технической термодинамики. Феноменологические и статистические методы.	2	-	-	6	8
2	Основные понятия термодинамики	Основные понятия термодинамики: термодинамическая система, окружающая среда, макроскопические процессы в системах. Характер внешних воздействий. Изолированная система. Время релаксации. Внутренняя энергия системы. Состояние системы. Термодинамические параметры состояния: удельный объем, давление, температура. Уравнение состояния.	2	4	-	12	18
3	Первый закон термодинамики	Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости. Уравнение Майера. Коэффициент Пуассона. Физический смысл газовой постоянной. Значение первого закона термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Уравнение первого закона термодинамики. Анализ уравнения первого закона термодинамики: работа, теплота, внутренняя энергия. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Смесь идеальных газов. Способы задания смеси. Теплоемкость смеси. Газовая постоянная смеси.	6	4	4	10	24
4	Основные процессы идеальных газов	Методика исследования процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатический процесс. Политропный процесс. Особенности политропных процессов. Теплоемкость политропного процесса. Способы определения показателя политропы.	6	8	4	14	32
5	Второй закон термодинамики	Круговые процессы или циклы. Термический КПД. Цикл Карно. Теорема Карно. Абсолютная шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в обратимых процессах. Регенеративный цикл. Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропия и термодинамика. Формулировки второго закона термодинамики. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики.	4	8	-	12	24

6	Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики	Общие положения о характеристических функциях. Характеристические функции: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия и термодинамический потенциал. Значение дифференциальных уравнений термодинамики и основные методы доказательств. Основные дифференциальные уравнения объединенного закона термодинамики.	4	4	-	8	16
7	Термодинамические свойства вещества	Термодинамическое уравнение состояния. Графическое представление термодинамического уравнения состояния. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния реального газа. PV-P диаграмма. Термические коэффициенты. Калорическое уравнение состояния. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов. Свойства вещества в критической точке. Методы расчета энтропии вещества.	4	-	-	10	14
8	Водяной пар	Испарение, кипение, конденсация. Основные определения. P-V-диаграмма водяного пара. Таблицы водяного пара. T-S-диаграмма водяного пара. I-S-диаграмма водяного пара. Графический метод расчета паровых процессов. Теплоемкость перегретого водяного пара. Процесс дросселирования водяного пара. Методы составления уравнения состояния перегретого пара. Влажный воздух. Основные определения. Влажосодержание. Абсолютная и относительная влажность. I-d диаграмма влажного воздуха. Процессы во влажном воздухе.	8	8	6	22	44
9	Термодинамика потока	Основные уравнения процессов истечения: уравнение неразрывности, движения, Первого закона термодинамики, состояния. Скорость звука. Истечение из суживающихся сопел. Переход через скорость звука. Сопло Лавала. Адиабатные истечения с трением. Общие закономерности течения. Закон обращения воздействий. Температура торможения. Смешение газовых потоков. Дросселирование. Уравнение процесса адиабатного дросселирования. Температура инверсии. Интегральный адиабатный дроссель-эффект. Дросселирование водяного пара.	6	8	4	8	26
10	Методы анализа эффективности циклов	Ограничения превратимости энергии. Эксергия и анергия. Понятие об эксергическом к.п.д. Методы сравнения термических	4	4	-	4	12

		к.п.д. обратимых циклов. Метод коэффициентов полезного действия в анализе необратимых циклов. Энтروпийный метод расчета потерь работоспособности в необратимых циклах.					
11	Циклы энергоустановок	Компрессоры. Классификация, принцип действия одноступенчатого поршневого компрессора. Цикл одноступенчатого компрессора. Анализ цикла. Объемный к.п.д. Многоступенчатый компрессор. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто. Цикл Дизеля. Цикл Тринклера. Циклы газотурбинных установок. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении. Цикл ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме. Циклы реактивных двигателей. Определение и классификация. Циклы ВРД. Цикл ЖРД. Теплосиловые паровые циклы. Цикл Карно. Цикл Ренкина. Цикл с промежуточным перегревом пара. Теплофикационные циклы. Регенеративный цикл. Бинарные циклы. Теплосиловые циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию. Цикл МГД-установки. Общие сведения о холодильных установках. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессорной установки.	22	32	-	28	82
12	Основы химической термодинамики	Общие положения. Первый закон термодинамики применительно к химическим реакциям. Теплоты реакций. Закон Гесса и его следствия. Закон Кирхгофа. Второй закон термодинамики и его применение к химическим процессам.	4	10	-	10	24
<b>Итого</b>			<b>72</b>	<b>90</b>	<b>18</b>	<b>144</b>	<b>324</b>

### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Первый закон термодинамики	Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Истинная и средняя теплоемкости. Уравнение Майера. Коэффициент Пуассона. Физический смысл газовой постоянной. Уравнение первого закона термодинамики. Анализ уравнения первого закона термодинамики: работа, теплота, внутренняя энергия. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики для потока.	4	4	4	76	88
2	Основные процессы идеальных газов	Методика исследования процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатический процесс. Политропный процесс.	4	4	4	76	88

3	Термодинамика потока	Основные уравнения процессов истечения. Скорость звука. Истечение из суживающихся сопел. Переход через скорость звука. Сопло Лаваля. Дросселирование. Уравнение процесса адиабатного дросселирования. Температура инверсии. Интегральный адиабатный дроссель-эффект. Дросселирование водяного пара	2	2	-	80	84
4	Водяной пар	Испарение, кипение, конденсация. Основные определения. P-V-диаграмма водяного пара. Таблицы водяного пара. T-S-диаграмма водяного пара. I-S-диаграмма водяного пара. Влажный воздух. Основные определения. Влажность. Абсолютная и относительная влажность. I-d диаграмма влажного воздуха. Процессы во влажном воздухе.	2	2	-	83	87
<b>Итого</b>			<b>12</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>315</b>	<b>347</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Изохорное нагревание воды и водяного пара

Лабораторная работа № 2. Измерение теплоемкости и расчет термодинамических свойств влажного и сухого воздуха

Лабораторная работа № 3. Исследование процесса адиабатного истечения водяного пара и воздуха через суживающееся сопло

Лабораторная работа № 4. Исследование процессов с влажным воздухом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 3 семестре для очной формы обучения, в 3 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Термодинамический расчет наружного охлаждения камеры сгорания»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- определение тепловых нагрузок;
- построение температурных графиков;
- определение скорости движения охладителя и мощности насоса.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-2	знать законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-5	знать калорические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выбирать средства измерения, проводить измерения неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками применения измерительных средств и теплотехнического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 2, 3 семестре для очной формы обучения, 2, 3 семестре для заочной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»



Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-2	знать законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках	Тест	Выполнение теста на 60-100%	Выполнение менее 60%
	уметь проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать калорические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям	Тест	Выполнение теста на 60-100%	Выполнение менее 60%
	уметь выбирать средства измерения, проводить измерения незлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками применения измерительных средств и теплотехнического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

или  
«отлично»;  
«хорошо»;  
«удовлетворительно»;  
«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-2	знать законы сохранения и	Тест	Выполнение теста на 85-	Выполнение теста на 70-	Выполнение теста на 60-	В тесте менее 60%

	превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты, термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках		100%	84%	69%	правильных ответов
	уметь проводить термодинамический анализ циклов тепловых машин с целью оптимизации их рабочих характеристик и максимизации КПД	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть основами термодинамического анализа рабочих процессов в тепловых машинах, определения параметров их работы, тепловой эффективности	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать calorические и переносные свойства веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям	Тест	Выполнение теста на 85-100%	Выполнение теста на 70-84%	Выполнение теста на 60-69%	В тесте менее 60% правильных ответов
	уметь выбирать средства измерения, проводить измерения неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками применения измерительных средств и теплотехнического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Что называют термодинамической системой?

1) Тело или группу макротел, обменивающихся энергией с другими

талами.

- 2) Совокупность макротел, образующая нечто целое геометрически.
- 3) Совокупность макротел с одинаковой температурой.
- 4) Совокупность макротел с одинаковыми физическими свойствами.
- 5) Не знаю.

2. Сформулируйте первый закон термодинамики с точки зрения возможности создания машины-двигателя.

- 1) Невозможен тепловой двигатель без источника и приемника теплоты.
- 2) Невозможен тепловой двигатель, работающий только за счет внутренней энергии рабочего тела.
- 3) Невозможен тепловой двигатель с термическим КПД, равным 1.
- 4) Невозможен тепловой двигатель, если в нем не осуществляется расширение рабочего тела.
- 5) Не знаю.

3. Как протекают равновесные процессы?

- 1) Бесконечно долго по времени.
- 2) Весьма интенсивно.
- 3) Необратимым способом.
- 4) Обратимым способом.
- 5) Не знаю.

4. Какая из приведенных формулировок представляет собой второй закон термодинамики?

- 1) Неравновесные необратимые процессы можно показывать лишь условно, их практически невозможно рассчитать.
- 2) Энтропия системы при любых взаимодействиях с окружающей средой возрастает.
- 3) Энтропия теплоизолированной системы при неравновесных процессах в ней всегда возрастает.
- 4) Все термодинамические процессы, если их изолировать от среды, стремятся к однородному и равновесному состоянию.
- 5) Не знаю.

5. Зависит ли теплоемкость газов и паров от вида процесса?

- 1) Зависит.
- 2) Не зависит.
- 3) Зависит только от паров.
- 4) Зависит только для идеального газа.
- 5) Не знаю.

6. Что называют термодинамическим циклом?

- 1) Ряд последовательных термодинамических процессов, протекающих в тепловых и холодильных машинах.
- 2) Ряд последовательных термодинамических процессов, в результате

которых система обменивается со средой теплом и работой.

3) Ряд последовательных термодинамических процессов, в результате которых термодинамическая система приходит к исходному состоянию.

4) Ряд повторяющихся друг за другом процессов.

5) Не знаю.

7. Из каких последовательных термодинамических процессов составлен цикл Карно?

1) Изотерма, изохора, изотерма, изобара.

2) Изотерма, адиабата, изотерма, изохора.

3) Изотерма, адиабата, изобара, адиабата.

4) Изотерма, адиабата, изотерма, адиабата.

5) Не знаю.

8. Какой пар называют насыщенным?

1) Пар, образующийся при испарении с поверхности жидкости.

2) Пар, температура которого выше температуры насыщения.

3) Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

4) Пар, находящийся внутри пузырьков в кипящей жидкости.

5) Не знаю.

9. В каком случае кипение будет сопровождаться повышением температуры жидкости и пара?

1) Никогда.

2) При изобарном подводе тепла.

3) При изохорном подводе тепла в процессе кипения.

4) Если в процессе подвода тепла увеличивать и давление пара.

5) Не знаю.

10. В каком случае конденсация пара сопровождается уменьшением температуры?

1) При изохорном охлаждении влажного или перегретого пара.

2) При изобарном охлаждении влажного пара.

3) При адиабатном расширении влажного пара.

4) Никогда.

5) Не знаю.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Задача 1. Ртутный вакуумметр, присоединенный к сосуду показывает разрежение  $p = 56$  кПа (420 мм рт. ст.) при температуре ртути в вакуумметре  $t = 20$  °С. Давление атмосферы по ртутному барометру  $B = 102,4$  кПа (768 мм рт. ст.) при температуре ртути  $t = 18$  °С. Определить абсолютное давление в сосуде.

Задача 2. Дымовые газы, образовавшиеся в топке парового котла, охлаждаются с 1200 до 250 °С. Во сколько раз уменьшается их объем, если давление газов в начале и в конце газопроводов одинаково?

Задача 3. Во сколько раз больше воздуха (по массе) вмещает резервуар при 10 °С, чем при 50 °С, если давление остается неизменным?

Задача 4. Определить среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме для азота в пределах 200-800 °С, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной.

Задача 5. К газу, заключенному в цилиндре с подвижным поршнем, подводится извне 100 кДж теплоты. Величина произведенной работы при этом составляет 115 кДж. Определить изменение внутренней энергии газа, если количество его равно 0,8 кг.

Задача 6. Определить массу кислорода, содержащегося в баллоне емкостью 60 л, если давление кислорода по манометру равно 1,08 МПа, а показание ртутного барометра 99 325 Па при температуре 25 °С.

Задача 7. Определить, какая часть теплоты, подводимой к газу в изобарном процессе, расходуется на работу и какая – на изменение внутренней энергии.

Задача 8. Воздух в количестве 0,5 кг при давлении 0,5 МПа и температуре 30 °С расширяется изотермически до пятикратного объема. Определить работу, совершаемую газом, конечное давление и количество теплоты, сообщаемой газу.

Задача 9. 1 кг воздуха при температуре 15 °С и начальном давлении 0,1 МПа адиабатно сжимается до 0,8 МПа. Найти работу, конечный объем и конечную температуру.

Задача 10. В цилиндрическом сосуде, имеющем внутренний диаметр 0,6 м и высоту 2,4 м, находится воздух при температуре 18 °С. Давление воздуха составляет 0,765 МПа. Барометрическое давление (приведенное к нулю) равно 101 858 Па. Определить массу воздуха в сосуде.

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

Задача 1. Давление в паровом котле 0,04 МПа при барометрическом давлении 96660 Па (725 мм рт. ст.). Чему будет равно избыточное давление в котле, если показания барометра повысятся до 104 660 Па (785 мм рт. ст.), а состояния пара в котле останется прежним?

Задача 2. Компрессор подает сжатый воздух в резервуар, причем за время работы компрессора давление в резервуаре повышается от атмосферного до 0,7 МПа, а температура – от 20 до 25 °С. Объем резервуара 56 м<sup>3</sup>. Барометрическое давление, приведенное к 0 °С, 100 кПа. Определить массу воздуха, поданного компрессором в резервуар.

Задача 3. В калориметр, содержащий 0,6 кг воды при 20 °С, опускают стальной образец массой в 0,4 кг, нагретый до 200 °С. Найти теплоемкость стали, если повышение температуры воды составило 12,5°. Массой собственно калориметра пренебречь.

Задача 4. В машине вследствие плохой смазки происходит нагревание 200 кг стали на 40 °С в течение 20 минут. Определить вызванную этим потерю мощности машины. Теплоемкость стали принять равной 0,46 кДж/(кг•К).

Задача 5. В установке воздушного отопления внешний воздух при -15 °С

нагревается в калорифере при постоянном давлении до 60 °С. Какое количество теплоты надо затратить для нагревания 1000 м<sup>3</sup> наружного воздуха? Теплоемкость воздуха считать постоянной. Давление воздуха принять равным 101 325 Па.

Задача 6. В газовом двигателе смесь газа и воздуха адиабатно сжимается так, что к концу сжатия ее температура оказывается на 200 °С ниже температуры самовоспламенения газа. В начале сжатия давление 0,09 МПа и температура 70 °С. Показатель адиабаты  $k = 1,36$ ,  $R = 314$  Дж/(кг·К), температура самовоспламенения равна 650 °С. Определить величину работы сжатия и степень сжатия.

Задача 7. Адиабатным сжатием повысили температуру воздуха в двигателе так, что она стала равной температуре воспламенения нефти; объем при этом уменьшился в 14 раз. Определить конечную температуру и конечное давление воздуха, если начальное давление 0,1 МПа и начальная температура 100 °С.

Задача 8. Определить максимальную полезную работу, которая может быть произведена 1 кг кислорода, если его начальное состояние характеризуется параметрами 400 °С и 0,1 МПа, а состояние среды – параметрами 20 °С и 0,1 МПа. Представить процесс в диаграммах  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$ .

Задача 9. Манометр парового котла показывает давление 0,2 МПа. Показания барометра 0,103 МПа (776 мм рт. ст.). Считая пар сухим насыщенным, определить его температуру, удельный объем и энтальпию.

Задача 10. Найти диаметр паропровода, по которому протекает пар при давлении 1,2 МПа и температуре 260 °С. Расход пара 350 кг/ч, скорость пара 50 м/с.

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Параметры состояния: название параметра, определение, обозначение, размерность.
2. Виды давления. Приборы для измерения давления.
3. Идеальные и реальные газы. Основное уравнение кинетической теории газов. Уравнение Ван дер Ваальса.
4. Законы Шарля, Бойля-Мариотта, Гей-Люссака.
5. Характеристическое уравнение идеального газа. Универсальная газовая постоянная.
6. Определение теплоемкости. Понятие средней и истинной теплоемкости. Массовая, объемная и мольная теплоемкости.
7. Теплоемкость при постоянном давлении и при постоянном объеме. Уравнение Майера. Виды зависимости теплоемкости от температуры.
8. 1-й закон термодинамики: определение и аналитическое выражение. Теплота и работа.
9. Внутренняя энергия идеальных и реальных газов. Формула для определения изменения внутренней энергии, единицы измерения.
10. Физический смысл энтальпии, формула для определения, единицы измерения.

11. Изохорный процесс: уравнение процесса, изображение процесса в  $p$ - $v$  и  $T$ - $S$  диаграммах, формулы для определения изменения внутренней энергии и количества теплоты в процессе.

12. Изобарный процесс: уравнение процесса, изображение процесса в  $p$ - $v$  и  $T$ - $S$  диаграммах, формулы для определения изменения внутренней энергии, количества теплоты и совершаемой работы в процессе.

13. Изотермический процесс: уравнение процесса, изображение процесса в  $p$ - $v$  и  $T$ - $S$  диаграммах, формулы для определения количества теплоты и совершаемой работы в процессе.

14. Адиабатный процесс: уравнение процесса, зависимости между начальными и конечными параметрами процесса, изображение процесса в  $p$ - $v$  и  $T$ - $S$  диаграммах, формулы для определения изменения внутренней энергии и совершаемой работы в процессе.

15. Политропный процесс: уравнение процесса, зависимости между начальными и конечными параметрами процесса, изображение процесса в  $p$ - $v$  и  $T$ - $S$  диаграммах, формулы для определения изменения внутренней энергии, количества теплоты и совершаемой работы в процессе. Определение показателя политропы.

16. Определение и аналитическое выражение 2-го закона термодинамики.

17. Физический смысл энтропии. Формулы для определения энтропии при переменной и постоянной теплоемкости, изменения энтропии между двумя произвольными состояниями газа при переменной теплоемкости.

18. Уравнения кривых различных термодинамических процессов в  $T$ - $S$  диаграммах.

19. Понятие максимальной полезной работы. Формулы для определения.

20.  $p$ - $v$  диаграмма водяного пара.

21. Определение параметров сухого насыщенного пара.

22. Определение параметров влажного насыщенного пара.

23. Определение параметров перегретого пара.

24. Испарение, кипение, конденсация. Плавление и сублимация.  $p$ - $T$ -диаграмма водяного пара. Понятие теплоты жидкости, теплоты парообразования, теплоты перегрева.

25. Формулы для определения энтропии пара.

### **7.2.5 Примерный перечень заданий для промежуточной аттестации**

1. Основные понятия и определения термодинамики.

2. Термодинамические параметры состояния.

3. Понятие термодинамического процесса.

4. Законы для идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.

5. Универсальная газовая постоянная. Уравнение Клапейрона-Менделеева.

6. Уравнение состояния реальных газов.

7. Газовые смеси. Законы Дальтона, Амага. Способы задания газовых

смесей.

8. Определение параметров газовой смеси при задании ее массовыми долями.

9. Определение параметров газовой смеси при задании ее объемными долями.

10. Понятия теплоты, работы. Принцип эквивалентности. Понятие внутренней энергии. Закон Джоуля.

11. Формулировки 1 закона термодинамики. Виды работ.

12. Работа деформации.

13. Работа вытеснения.

14. Развернутое выражение 1 закона термодинамики. Энтальпия.

15. Понятие теплоемкости. Массовая, объемная, мольная теплоемкости.

Истинная и средняя теплоемкости.

16. Зависимость теплоемкости от температуры. Изохорная и изобарная теплоемкости.

17. Формула Майера. Коэффициент Пуассона. Теплоемкость смеси.

18. Изохорный процесс изменения состояния идеального газа.

19. Изобарный процесс изменения состояния идеального газа.

20. Изотермический процесс изменения состояния идеального газа.

21. Адиабатный процесс изменения состояния идеального газа.

22. Политропные процессы.

23. Группы политропных процессов. Способы определения показателей политропы.

24. Формулировки 2 закона термодинамики.

25. Прямой и обратный циклы. Термический коэффициент полезного действия.

26. Цикл Карно.

27. Математическое выражение 2 закона термодинамики для обратимых циклов.

28. Математическое выражение 2 закона термодинамики для необратимых циклов.

29. Энтропия. Основное термодинамическое тождество.

30. Физический смысл энтропии. Энтропия и термодинамическая вероятность.

31. Изменение энтропии идеального газа между двумя состояниями.

32. Водяной пар. Основные понятия и определения.

33. Термодинамическая фазовая  $pT$ -диаграмма.

34.  $p-v$ -диаграмма водяного пара.

35.  $Ts$ -диаграмма водяного пара.

36.  $is$ -диаграмма водяного пара.

37. Определение основных параметров воды и влажного насыщенного пара.

38. Определение основных параметров сухого насыщенного и перегретого пара.

39. Изобарный процесс изменения состояния водяного пара в  $p-v$ -,  $Ts$ -,



is-диаграммах.

40. Изохорный процесс изменения состояния водяного пара в  $p$ - $v$ -,  $T$ - $s$ -,  $i$ - $s$ -диаграммах.

41. Изотермический процесс изменения состояния водяного пара в  $p$ - $v$ -,  $T$ - $s$ -,  $i$ - $s$ -диаграммах.

42. Адиабатный процесс изменения состояния водяного пара в  $p$ - $v$ -,  $T$ - $s$ -,  $i$ - $s$ -диаграммах.

43. Влажный воздух. Абсолютная влажность.

44. Влажностное содержание и относительная влажность воздуха.

45. Теплоемкость и энтальпия влажного воздуха.

46.  $i$ - $s$ -диаграмма влажного воздуха.

47. Компрессор. Основные процессы в одноступенчатом компрессоре.

48. Работа и мощность на привод компрессора.

49. Многоступенчатый компрессор.

50. Детандеры.

51. Циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Отто).

52. Циклы ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Дизеля).

53. Циклы ДВС со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера).

54. Циклы ГТУ с подводом теплоты при постоянном давлении.

55. Циклы ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме.

56. Цикл ГТУ с регенерацией теплоты.

57. Циклы ЖРД.

58. Пульсирующий ВРД.

59. Компрессорный ВРД.

60. Цикл Карно во влажном паре и его недостатки.

61. Цикл Ренкина.

62. Полезная работа и термический КПД цикла Ренкина.

63. Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина.

64. Промежуточный перегрев пара в цикле Ренкина.

65. Циклы парогазовых установок.

66. Циклы атомных электростанций.

67. Циклы холодильных машин.

68. Цикл воздушной холодильной установки.

69. Цикл паровой компрессорной холодильной установки.

70. Цикл холодильной установки абсорбционного типа.

71. Основные уравнения процессов истечения. Скорость звука. Истечение из суживающихся сопел.

72. Сопло Лавалья.

73. Дросселирование. Интегральный адиабатный дроссель-эффект. Дросселирование водяного пара.

74. Закон Гесса и его следствия. Закон Кирхгофа.

75. Второй закон термодинамики и его применение к химическим процессам.

### 7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 теоретических вопроса и задачу. Каждый правильный полный ответ на один вопрос в билете оценивается 1 баллом, решенная задача 2 балла. Максимальное количество набранных баллов – 5.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент не ответил на все вопросы в билете и не решил задачу.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент дал полный правильный ответ на 1 вопрос и решил задачу.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент дал полный правильный ответ на 2 вопроса и решил задачу.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент правильно ответил на все вопросы в билете и решил задачу.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ОПК-2, ОПК-5	Тест, экзамен
2	Основные понятия термодинамики	ОПК-2, ОПК-5	Тест, зачет, экзамен, курсовой проект, защита лабораторных работ, решение задач
3	Первый закон термодинамики	ОПК-2, ОПК-5	Тест, зачет, экзамен, курсовой проект, защита лабораторных работ, решение задач
4	Основные процессы идеальных газов	ОПК-2, ОПК-5	Тест, зачет, экзамен, курсовой проект, защита лабораторных работ, решение задач
5	Второй закон термодинамики	ОПК-2, ОПК-5	Тест, зачет, экзамен, решение задач
6	Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики	ОПК-2, ОПК-5	Тест, экзамен, решение задач
7	Термодинамические свойства вещества	ОПК-2, ОПК-5	Тест, экзамен, решение задач
8	Водяной пар	ОПК-2, ОПК-5	Тест, зачет, экзамен, решение задач
9	Термодинамика потока	ОПК-2, ОПК-5	Тест, экзамен, решение задач
10	Методы анализа эффективности циклов	ОПК-2, ОПК-5	Тест, экзамен, решение задач
11	Циклы энергоустановок	ОПК-2, ОПК-5	Тест, экзамен, решение задач
12	Основы химической термодинамики	ОПК-2, ОПК-5	Тест, экзамен, решение задач

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: Учебник. - 4-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 416 с.

2. Андрианова Т.Н., Зубарев В.Н., Ремизов С.А., Филатов Н.Я. Сборник задач по технической термодинамике. Учебное пособие. М.: МЭИ, 2000 – 356 с.

3. Термодинамика. Учебное пособие по дисциплине «Техническая термодинамика» для бакалавров по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (Профиль Промышленная теплоэнергетика) очной и заочной форм обучения / ВГТУ; Сост.: В.Ю. Дубанин. Воронеж, 2010. 142 с.

4. Техническая термодинамика. Практические и лабораторные работы. Учебное пособие по дисциплине «Техническая термодинамика» для бакалавров по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (Профиль Промышленная теплоэнергетика) очной и заочной форм обучения / ВГТУ; Сост.: В.Ю. Дубанин, А.М. Наумов, Д.А. Прутских. Воронеж, 2017. 89 с.

5. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Техническая термодинамика» для студентов специальности

13.03.01 очной и заочной форм обучения / ВГТУ; Сост.: В.Ю. Дубанин, А.М. Наумов, Д.А. Прутских, А.А. Надеев. Воронеж, 2021. 26 с.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

**8.2.1 Программное обеспечение**

- Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic;
- OpenOffice;
- Adobe Acrobat Reader;
- Internet explorer

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

- Российское образование. Федеральный портал. <http://www.edu.ru/>
- Образовательный портал ВГТУ <https://education.cchgeu.ru/>

**8.2.3 Информационные справочные системы**

- <http://window.edu.ru>
- <https://wiki.cchgeu.ru/>

**8.2.4 Современные профессиональные базы данных**

– Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru>

– Единая система конструкторской документации. URL: [https://standartgost.ru/0/2871-edinaya\\_sistema\\_konstruktorskoj\\_dokumentatsii](https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoj_dokumentatsii)

– Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система. URL: [www1.fips.ru](http://www1.fips.ru)

– Национальная электронная библиотека. URL: [elibrary.ru](http://elibrary.ru)

**9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащённая оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой (ауд. 306/3).

2. Дисплейный класс, оснащённый компьютерными программами для проведения лабораторного практикума (ауд. 312/3).

3. Учебная лаборатория «Техническая термодинамика и теплотехнические измерения» (ауд. 301а/3), содержащая 4 лабораторных стенда.

**10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Техническая термодинамика» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков термодинамических инженерных расчетов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в методических указаниях. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом, экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОИ
1	В разделе 3, таблицах 7.1.1, 7.1.2, 7.2.7 читать вместо «ОПК-2» – «ОПК-3», вместо «ОПК-5» – «ОПК-6».	24.10.2022	