

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета Д.А. Яременко С. А. Яременко  
«18» февраля 2025 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Техническая термодинамика»

**Направление подготовки** 21.03.01 Нефтегазовое дело

**Профиль** "Газонефтепроводы и газонефтехранилища"

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 5 лет

**Форма обучения** очная / очно-заочная

**Год начала подготовки** 2025

Автор программы

\_\_\_\_\_ / Китаев Д.Н./

И.о. заведующего кафедрой  
Теплогазоснабжения и  
нефтегазового дела

\_\_\_\_\_ / Колосов А.И./

Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_ / Гульская С.Г./

Воронеж 2025

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Формирование у студентов глубоких и фундаментальных знаний в области технической термодинамики.

Овладение студентами физической сущности процессов преобразования тепловой энергии в работу.

Развитие навыков практического применения знаний для решения конкретных задач в области создания и использования теплотехнического оборудования, расчета и прогнозирования его эксплуатационных характеристик.

Привитие умения и навыка грамотно и эффективно использовать как отдельные тепловые устройства, так и встроенные в различные технологические процессы.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

Дать необходимую теоретическую теплотехническую подготовку будущему квалифицированному инженеру.

В том числе:

понять сущность термодинамических процессов в различных средах;

освоить инженерные методы расчета температур и тепловых потоков в конструкциях различной формы для различных условий преобразования тепловой энергии в работу;

уметь выполнять термодинамические расчеты для конкретного теплотехнического оборудования.

## **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-1 - Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>
ОПК-1	Знать законы термодинамики; основные закономерности преобразования энергии в различных термодинамических процессах; принцип действия и устройство теплосиловых установок, применяемых в отрасли; рабочие процессы и эффективные показатели процессов в энергетических установках.

	Уметь рассчитывать и выбирать рациональные системы преобразования и использования энергии; использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения для моделирования термодинамических процессов; пользоваться справочной литературой по термодинамике.
	Владеть инженерной терминологией; навыками выполнения термодинамических расчетов; стандартными средствами компьютерного моделирования термодинамических процессов.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Техническая термодинамика» составляет 6 з.е.

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

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	90	90
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	90	90
<b>Курсовая работа</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	216	216
зач.ед.	6	6

**очно-заочная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	80	80
В том числе:		
Лекции	32	32
Практические занятия (ПЗ)	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
<b>Самостоятельная работа</b>	100	100
<b>Курсовая работа</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		

академические часы	216	216
зач.ед.	6	6

## 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	Основные понятия и определения термодинамики.	Теплоемкость. Феноменологический и статистический подходы. Понятия: термодинамическая система, рабочее тело, параметры состояния, процессы. Основные параметры состояния (температура, давление, удельный объем и т.д.) Идеальный газ, законы идеального газа. Уравнение состояния. Теплоемкость. Понятие теплоемкости, ее классификации по количеству вещества, характеру процесса, интервалу температуры. Уравнение Майера для идеального газа. Связь между различными видами теплоемкости. Газовые смеси. Характеристики газовых смесей, способы задания газовых смесей.	6	4	4	10	24
2	Термодинамические процессы.	Внутренняя энергия, теплота, работа. Первый закон термодинамики, его формулировки, аналитические выражения. Энтальпия. Располагаемая и совершаемая системой работа. Термодинамические циклы. Прямые и обратные циклы. КПД цикла, холодильный коэффициент обратного цикла. Цикл и теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Понятие энтропии как параметра состояния. Статистический смысл энтропии. 2-й закон термодинамики. Формулировки и аналитическое выражение. Энтропия и работоспособность системы.	6	4	2	10	22
3	Водяной пар.	Параметры водяного пара. PV-, TS- и iS - диаграммы состояний водяного пара. Таблицы свойств водяного пара. Сопоставление их с диаграммами. Расчет термодинамических процессов водяного пара по диаграммам и таблицам. Истечение газов и паров. Скорость истечения, ее связь со скоростью	4	4	2	10	20

		звука. Критическое соотношение давлений. Условия перехода через критическую скорость. Сопло Лаваля. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса. Изменение калорических и термических параметров при дросселировании. Эффект Джоуля-Томсона. Температура инверсии. Адиабатный и изотермический дроссель-эффекты. Интегральный дроссель-эффект.					
4	Параметры влажного воздуха.	Характеристики влажного воздуха, как смеси идеальных газов. Процессы нагрева, сушки. Id - диаграмма влажного воздуха. Расчет процессов идеальной сушки на Id - диаграмме. Реальный процесс сушки. Расчет параметров смешения потоков воздуха.	4	4	2	12	22
5	Поршневой компрессор.	Принцип действия. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие в поршневом компрессоре. Многоступенчатое сжатие, многоступенчатые компрессоры. Относительный внутренний КПД компрессора. Необратимое сжатие.	4	4	2	12	22
6	Паросиловые установки.	Принципиальная схема ПТУ. Цикл Ренкина, его исследование. Влияние параметров перегрева пара и параметров в конденсаторе на КПД цикла. Циклы с регенеративными отборами, с промежуточными перегревами и т.д. Теплофикационный цикл.	4	4	2	12	22
7	Двигатели внутреннего сгорания.	Схема, устройство, классификация принцип действия. Рабочие процессы в 2-х и 4-х-тактных ДВС. Индикаторные диаграммы. Топливо для ДВС. Термический КПД. Показатели их экономичности. Газотурбинные установки. Схемы ГТУ. Циклы ГТУ. Реактивные, турбореактивные ГТУ. Термический КПД для ГТУ.	4	6	2	12	24
8	Циклы воздушных, компрессионных холодильных установок.	Холодильный коэффициент, холодопроизводительность. Другие типы холодильных установок (эжекционные, абсорбционные). Характеристики и свойства холодильных агентов. Холодильные машины с рабочими телами, меняющими свое агрегатное состояние, (конструкции). Классификация хладоагентов.	4	6	2	12	24
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>90</b>	<b>180</b>

### очно-заочная форма обучения

№	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак	Лаб.	СРС	Всего,
---	-------------------	--------------------	------	------	------	-----	--------

п/п				зан.	зан.		час
1	Основные понятия и определения термодинамики.	Теплоемкость. Феноменологический и статистический подходы. Понятия: термодинамическая система, рабочее тело, параметры состояния, процессы. Основные параметры состояния (температура, давление, удельный объем и т.д.) Идеальный газ, законы идеального газа. Уравнение состояния. Теплоемкость. Понятие теплоемкости, ее классификации по количеству вещества, характеру процесса, интервалу температуры. Уравнение Майера для идеального газа. Связь между различными видами теплоемкости. Газовые смеси. Характеристики газовых смесей, способы задания газовых смесей.	4	4	2	12	22
2	Термодинамические процессы.	Внутренняя энергия, теплота, работа. Первый закон термодинамики, его формулировки, аналитические выражения. Энтальпия. Располагаемая и совершаемая системой работа. Термодинамические циклы. Прямые и обратные циклы. КЦД цикла, холодильный коэффициент обратного цикла. Цикл и теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Понятие энтропии как параметра состояния. Статистический смысл энтропии. 2-й закон термодинамики. Формулировки и аналитическое выражение. Энтропия и работоспособность системы.	4	4	2	12	22
3	Водяной пар.	Параметры водяного пара. PV-, TS- и iS - диаграммы состояний водяного пара. Таблицы свойств водяного пара. Сопоставление их с диаграммами. Расчет термодинамических процессов водяного пара по диаграммам и таблицам. Истечение газов и паров. Скорость истечения, ее связь со скоростью звука. Критическое соотношение давлений. Условия перехода через критическую скорость. Сопло Лаваля. Дросселирование газов и паров. Сущность процесса. Изменение калорических и термических параметров при дросселировании. Эффект Джоуля-Томсона. Температура инверсии. Адиабатный и изотермический дроссель-эффекты. Интегральный дроссель-эффект.	4	4	2	12	22
4	Параметры влажного воздуха.	Характеристики влажного воздуха, как смеси идеальных газов.	4	4	2	12	22

		Процессы нагрева, сушки. Id - диаграмма влажного воздуха. Расчет процессов идеальной сушки на Id - диаграмме. Реальный процесс сушки. Расчет параметров смешения потоков воздуха.					
5	Поршневой компрессор.	Принцип действия. Индикаторная диаграмма. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие в поршневом компрессоре. Многоступенчатое сжатие, многоступенчатые компрессоры. Относительный внутренний КПД компрессора. Необратимое сжатие.	4	4	2	12	22
6	Паросиловые установки.	Принципиальная схема ПТУ. Цикл Ренкина, его исследование. Влияние параметров перегрева пара и параметров в конденсаторе на КПД цикла. Циклы с регенеративными отборами, с промежуточными перегревами и т.д. Теплофикационный цикл.	4	4	2	12	22
7	Двигатели внутреннего сгорания.	Схема, устройство, классификация принцип действия. Рабочие процессы в 2-х и 4-х-тактных ДВС. Индикаторные диаграммы. Топливо для ДВС. Термический КПД. Показатели их экономичности. Газотурбинные установки. Схемы ГТУ. Циклы ГТУ. Реактивные, турбореактивные ГТУ. Термический КПД для ГТУ.	4	4	2	14	24
8	Циклы воздушных, компрессионных холодильных установок.	Холодильный коэффициент, холодопроизводительность. Другие типы холодильных установок (эжекционные, абсорбционные). Характеристики и свойства холодильных агентов. Холодильные машины с рабочими телами, меняющими свое агрегатное состояние, (конструкции). Классификация хладагентов.	4	4	2	14	24
<b>Итого</b>			<b>32</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>100</b>	<b>180</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Измерение температуры.

Исследование термодинамических параметров при фазовых переходах на линии насыщения жидкость пар.

Исследование процесса адиабатического дросселирования реальных газов.

Исследование удельной теплоемкости твердых тел.

Исследование теплоемкости газов в проточном калориметре.

Исследование работы термоэлектрического преобразователя в режиме электрического генератора.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 3 семестре для очной формы обучения и в 4 семестре для очно-заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Термодинамические основы производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, КЭС и в районных котельных».

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

Расчет термодинамических процессов производства тепловой и электрической энергии.

Определение эффективности термодинамических процессов производства тепловой и электрической энергии.

Курсовая работа 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-1	Знать законы термодинамики; основные закономерности преобразования энергии в различных термодинамических процессах; принцип действия и устройство теплосиловых установок, применяемых в отрасли; рабочие процессы и эффективные показатели процессов в энергетических установках.	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь рассчитывать и выбирать	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок,	Невыполнение работ в срок,

	рациональные системы преобразования и использования энергии; использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения для моделирования термодинамических процессов; пользоваться справочной литературой по термодинамике.		предусмотренный в рабочих программах	предусмотренный в рабочих программах
	Владеть инженерной терминологией; навыками выполнения термодинамических расчетов; стандартными средствами компьютерного моделирования термодинамических процессов.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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 3 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	Знать законы термодинамики; основные закономерности преобразования энергии в различных термодинамических процессах; принцип действия и устройство теплосиловых установок, применяемых в отрасли; рабочие процессы и эффективные показатели процессов в энергетических установках.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

Уметь рассчитывать и выбирать рациональные системы преобразования и использования энергии; использовать возможности вычислительной техники и программного обеспечения для моделирования термодинамических процессов; пользоваться справочной литературой по термодинамике.	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 инженерной терминологией; навыками выполнения термодинамических расчетов; стандартными средствами компьютерного моделирования термодинамических процессов.	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. Чаще всего состояние рабочего тела определяется следующими параметрами:

- а) удельным объемом
- б) давлением и температурой
- в) только температурой
- г) удельным объемом, давлением и температурой

2. Абсолютное давление в случае разряжения определяют по формуле:

- а)  $p_{абс} = B - p_{вак}$
- б)  $p_{абс} = B + p_{вак}$
- в)  $p_{абс} = P/S$
- г)  $p_{абс} = \gamma h$

3. Значение универсальной газовой постоянной R, кДж/(кмоль·К) равно:

- а) 83,14
- б) 848
- в) 8,314
- г) 0,8314

4. Давление 10,2 ат равно:

- а) 1 МПа
- б) 10,2 кгс/см<sup>2</sup>
- в) 760 мм.рт.ст
- г) 10 м.вод.ст

5. Под идеальным газом понимают:

- а) газ, в котором отсутствуют силы притяжения и отталкивания между молекулами

- б) газ, в котором молекулы имеют массу, не имеют объема  
 в) газ, при высокой температуре и малом давлении  
 г) газ, подчиняющийся уравнению Ван-дер-Ваальса
6. Нормальными условиями принято считать  
 а)  $p=101325$  Па,  $T=273,15$  К б)  $p=760$  мм.рт.ст,  $t=0$  °С в)  $p=101325$  Па,  $t=20$ °С
7. Всякий реальный процесс является:  
 а) неравновесным процессом б) круговым процессом в) равновесным
8. В законе Дальтона говорится о:  
 а) массе смеси газов в) давлении смеси газов  
 б) объеме смеси газов г) температуре смеси газов
9. Изохорным называется процесс, в котором не изменяется  
 а) давление в) объем  
 б) температура г) количество сообщаемой теплоты
10. Для изохорного процесса характерно
11. Масса водяного пара, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха, называется:  
 а) абсолютной влажностью воздуха  
 б) относительной влажностью воздуха  
 в) степенью насыщения воздуха
12. Уравнение первого закона термодинамики для адиабатного процесса имеет вид:  
 а)  $dq = du$  б)  $dq = c dT$  в)  $dq = p du$  г)  $du = -dl$
13. Термический КПД цикла Карно:  
 а) больше 1 б) меньше 1 в) равен 1
14. Энтропия не изменяется:  
 а) в изобарном процессе в) в изохорном  
 б) в изотермическом г) в адиабатном
15. Сопло Лавала – это устройство для получения скорости истечения:  
 а) ниже критической б) равной критической в) выше критической
16. Температура водяного пара при дросселировании:  
 а) уменьшается б) увеличивается в) не изменяется
17. Процесс перегрева пара в цикле Ренкина (см. рисунок) изображается отрезком:  
 а) 4-5  
 б) 3-4  
 в) 6-1  
 г) 5-6
18. Термический КПД регенеративного цикла с одним отбором пара по сравнению с КПД цикла Ренкина:  
 а) больше б) меньше в) одинаков
19. Уравнение состояния для 1 кг идеального газа:

$$а) pV = MRT \quad б) pv = RT \quad в) pV RT m = m$$

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

**Задача 1.** По данным анализа установлен следующий объемный состав природного газа:

$$CH_4 = 97.0\%; C_2H_6 = 2.0\%; C_3H_8 = 0.3\%;$$

$$C_4H_{10} = 0.2\%; CO_4 = 0.1\%; N_2 = 0.4\%.$$

Определить среднюю молекулярную массу природного газа  $\mu_m$ , плотность газа в нормальных условиях  $\rho$ , массовые концентрации компонентов  $m_i$ , их парциальные давления  $P_i$ ; средние теплоемкости  $C_{pm}$ ,  $C_{vm}$  и показатель адиабаты  $k$ .

### Решение

Молекулярные массы составляющих смесь газов равны (по данным физических характеристик компонентов газа из справочных таблиц):

$$\mu_{CH_4} = 16.04; \mu_{C_2H_6} = 30.07; \mu_{C_3H_8} = 44.09;$$

$$\mu_{C_4H_{10}} = 58.12; \mu_{C_3} = 44.01; \mu_{N_2} = 28.02.$$

Молекулярная масса природного газа определяется по уравнению

$$\mu_m = \sum_{i=1}^{i=n} r_i \mu_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\mu_i}},$$

где  $\mu_i$  — молекулярная масса компонентов смеси,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$  и т. д.;  $r_i$  — молярная (или объемная) концентрация компонентов смеси, определяемая как отношение объема компонента к объему смеси;  $m_i$  — массовая концентрация компонентов смеси, определяемая как отношение массы данного компонента к массе смеси в целом.

Так как в условии задачи дан объемный состав газа, то удобнее воспользоваться первым уравнением соотношения

$$\begin{aligned} \mu_m &= \sum_{i=1}^{i=n} r_i \mu_i = 0,97 \cdot 16 + 0,02 \cdot 30,07 + 0,003 \cdot 44,09 + 0,002 \cdot 58,12 + \\ &+ 0,001 \cdot 44,01 + 0,004 \cdot 28,02 = 16,56 \text{ кг/кмоль.} \end{aligned}$$

Плотность газа при нормальных условиях ( $0^\circ\text{C}$  и  $0,1$  МПа) можно определить из уравнения Клапейрона  $Pv = P/\rho = RT$  или из закона Авогадро, утверждающего, что удельный молярный объем газа в нормальных условиях величина постоянная и равна

$$\bar{v} = \mu_m v = \frac{\mu_m}{\rho} = 22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль},$$

$$\rho = \frac{\mu_m}{\bar{v}} = \frac{16,56}{22,4} = 0,739 \text{ кг/м}^3.$$

По уравнению Клапейрона при  $t = 0^\circ\text{C}$  и  $P = 0,1$  МПа

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{50,21 \cdot 273,2} = 0,739 \text{ кг/м}^3,$$

$$R = \frac{\bar{R}}{\mu_M} = \frac{8314}{16,56} = 502,1 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}.$$

Массовые и объемные концентрации газа связаны между собой соотношением

$$\frac{m_i}{\mu_i} = \frac{r_i}{\mu_m},$$

отсюда

$$m_i = \frac{\mu_i}{\mu_m} r_i.$$

Следовательно, массовые концентрации отдельных компонентов смеси равны:

$$m_{CH_4} = \frac{\mu_{CH_4}}{\mu_m} \cdot r_{CH_4} = \frac{16,04}{16,56} \cdot 0,97 = 0,940,$$

$$m_{C_2H_6} = \frac{\mu_{C_2H_6}}{\mu_m} \cdot r_{C_2H_6} = \frac{30,07}{16,56} \cdot 0,02 = 0,036,$$

$$m_{C_3H_8} = \frac{\mu_{C_3H_8}}{\mu_m} \cdot r_{C_3H_8} = \frac{44,09}{16,56} \cdot 0,003 = 0,008,$$

$$m_{C_4H_{10}} = \frac{\mu_{C_4H_{10}}}{\mu_m} \cdot r_{C_4H_{10}} = \frac{58,12}{16,56} \cdot 0,002 = 0,007,$$

$$m_{CO_2} = \frac{\mu_{CO_2}}{\mu_m} \cdot r_{CO_2} = \frac{44,01}{16,56} \cdot 0,001 = 0,0027,$$

$$m_{N_2} = \frac{\mu_{N_2}}{\mu_m} \cdot r_{N_2} = \frac{28,02}{16,56} \cdot 0,004 = 0,0068,$$

Так что массовый состав газа в процентах равен:

$$CH_4 = 94\%; C_2H_6 = 3,6\%; C_3H_8 = 0,8\%;$$

$$C_4H_{10} = 0,7\%; CO_2 = 0,27\%; N_2 = 0,68\%.$$

Сумма массовых концентраций, как и молярных (объемных), равна единице:

$$\sum_{i=1}^{i=n} m_i = \sum_{i=1}^{i=n} r_i = 1.$$

Парциальные давления отдельных компонентов газа определяются по закону Дальтона из соотношения

$$P_i = r_i \cdot P.$$

Так что давление метана  $CH_4$ , этана  $C_2H_6$  и т. д. в смеси равно:

$$P_{CH_4} = r_{CH_4} \cdot P = 0,97 \cdot 0,1 = 0,097 \text{ МПа},$$

$$P_{C_2H_6} = r_{C_2H_6} \cdot P = 0,02 \cdot 0,1 = 0,002 \text{ МПа},$$

$$P_{C_3H_8} = r_{C_3H_8} \cdot P = 0,003 \cdot 0,1 = 0,0003 \text{ МПа},$$

$$P_{C_4H_{10}} = r_{C_4H_{10}} \cdot P = 0,002 \cdot 0,1 = 0,0002 \text{ МПа},$$

$$P_{CO_2} = r_{CO_2} \cdot P = 0,001 \cdot 0,1 = 0,0001 \text{ МПа},$$

$$P_{N_2} = r_{N_2} \cdot P = 0,004 \cdot 0,1 = 0,0004 \text{ МПа}.$$

Сумма парциальных давлений равна давлению смеси

$$\sum_{i=1}^{i=n} P_i = P_{CH_4} + P_{C_2H_6} + P_{C_3H_8} + P_{C_4H_{10}} + P_{CO_2} + P_{N_2} = 0,1 \text{ МПа}.$$

Средняя теплоемкость смеси определяется по уравнениям:

массовая теплоемкость смеси

$$C_{pm} = \sum_{i=1}^{i=n} m_i C_{pmi},$$

молярная теплоемкость смеси

$$\bar{C}_{pm} = \mu_m \cdot C_{pm} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i \bar{C}_{pmi},$$

где  $C_{pmi}$  — массовая теплоемкость компонентов смеси при данной температуре;  $\bar{C}_{pmi}$  — молярная теплоемкость компонентов смеси при данной температуре.

При температуре 0 °С и давлении 0,1 МПа можно принять, что теплоемкость метана  $C_{pCH_4} = 2,17$  кДж/кг·К, этана  $C_{pC_2H_6} = 1,65$  кДж/кг·К, пропана  $C_{pC_3H_8} = 1,56$  кДж/кг·К, бутана  $C_{pC_4H_{10}} = 1,58$  кДж/кг·К, углекислого газа  $C_{pCO_2} = 0,815$  кДж/кг·К, азота  $C_{pN_2} = 1,039$  кДж/кг·К. Следовательно, массовая теплоемкость смеси (при постоянном давлении) равна

$$C_{pm} = \sum_{i=1}^{i=n} m_i C_{pmi} = 0,94 \cdot 2,17 + 0,036 \cdot 1,65 + 0,008 \cdot 1,56 + 0,007 \cdot 1,58 + 0,0027 \cdot 0,815 + 0,0068 \cdot 1,039 = 2,13 \text{ кДж/кг·К}.$$

Молярная теплоемкость смеси газов при постоянном давлении

$$\bar{C}_{pm} = \mu_m \cdot C_{pm} = 16,56 \cdot 2,13 = 35,27 \text{ кДж/кмоль·К}.$$

Из уравнения Майера  $C_p - C_v = R, (\bar{C}_p - \bar{C}_v = \bar{R})$  можно найти теплоемкости смеси при постоянном объеме  $C_v, \bar{C}_v$ :

$$C_v = C_p - R = 2,13 - 0,5021 = 1,63 \text{ кДж/кг·К},$$

$$C_v = C_p - R = 35,27 - 8,314 = 26,96 \text{ кДж/кг·К}.$$

Из сопоставления численных значений теплоемкостей можно определить показатель адиабаты природного газа указанного состава (как идеального газа)

$$K = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\bar{C}_p}{\bar{C}_v} = \frac{C_p}{C_p - R} = \frac{2,13}{1,63} = 1,31.$$

## 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

**Задача 1.** Определить параметры состояния ( $P, v, t, u, i, s$ ) в крайних точках цикла газотурбинной установки простейшей схемы, работающей при следующих исходных данных (рис. 1.):

- начальное давление сжатия  $P_1 = 0,1$  МПа,
- конечное давление сжатия  $P_2 = 0,5$  МПа,
- начальная температура сжатия  $t_1 = +15$  °С,
- начальная температура процесса расширения  $t_3 = 750$  °С.

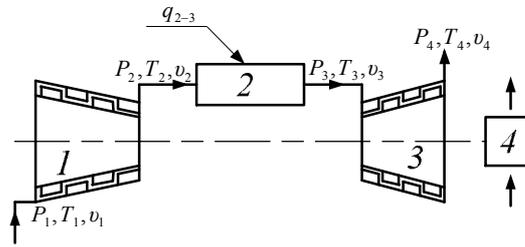


Рис. 1. Схема простейшей газотурбинной установки  
1 – осевой компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – турбина; 4 – нагрузка

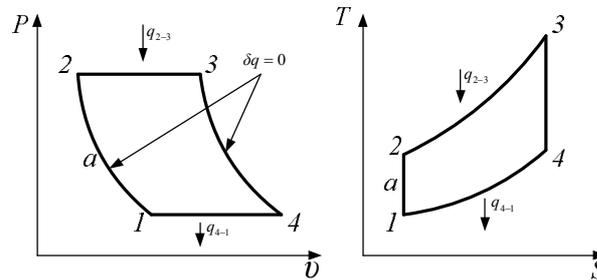


Рис. 2. Цикл газотурбинной установки в координатах  $P$ - $v$  и  $T$ - $S$

Внутреннюю энергию  $u$ , энтальпию  $i$  определить относительно  $T_0 = 0$  К, а энтропию  $s$  определить относительно состояния при  $T_0 = 273,2$  К,  $P_0 = 0,101$  МПа.

Для каждого процесса цикла определить работу, количество подведенного или отведенного тепла, изменение внутренней энергии, энтальпию и энтропию.

Определить работу цикла, количество подведенного и отведенного тепла, термический КПД цикла, сравнить его с КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальную и минимальную температуры.

Построить цикл в координатах  $P$ - $v$  и  $T$ - $S$ . Рабочее тело — 1 кг воздуха ( $R=0,287$  кДж/кг·К,  $C_p=1,006$  кДж/кг·К;  $C_v=C_p - R=0,719$  кДж/кг·К).

Для воздуха применимо уравнение состояния идеального газа  $Pv = RT$ .

### Решение

1. *Определение параметров состояния в крайних точках цикла.*

#### Точка 1.

$$P_1 = 0,1 \text{ МПа}; \quad t_1 = +15^\circ\text{С}; \quad T_1 = t_1 + 273,2 = 288,2 \text{ К};$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 288,2}{0,1 \cdot 10^6} = 0,827 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\rho = \frac{1}{v_1} = 1,21 \text{ кг/м}^3;$$

$$i_1 = C_p T_1 = 1,006 \cdot 288,2 = 289,9 \text{ кДж/кг};$$

$$u_1 = C_v T_1 = 0,719 \cdot 288,2 = 207,2 \text{ кДж/кг};$$

$$s_1 = C_p \ln \frac{T_1}{T_0} - R \ln \frac{P_1}{P_0} = 1,006 \ln \frac{288,2}{273,2} - 0,287 \ln \frac{0,1}{0,101} = 0,057 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

Следует заметить, что если определение энтропии в точке идет при совпадающем значении давления  $P_1 = P_0$ , то уравнение упрощается и принимает вид  $s_1 = C_p \ln \frac{T_1}{T_0}$ .

#### Точка 2.

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 288,2 \left( \frac{0,5}{0,1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 456,7 \text{ К};$$

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1,006}{0,719} = 1,4;$$

$$t_2 = T_2 - 273,2 = 183,5^\circ\text{С};$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 456,7}{0,5 \cdot 10^6} = 0,262 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\rho_2 = \frac{1}{\nu_2} = \frac{1}{0,262} = 3,82 \text{ кг/м}^3;$$

$$i_2 = C_p T_2 = 1,006 \cdot 456,7 = 459,4 \text{ кДж/кг};$$

$$u_2 = C_v T_2 = 0,719 \cdot 456,7 = 328,4 \text{ кДж/кг};$$

$$s_2 = C_p \ln \frac{T_2}{T_0} - R \ln \frac{P_2}{P_0} = 1,006 \ln \frac{456,7}{273,2} - 0,287 \ln \frac{0,5}{0,101} = 0,057 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

**Точка 3.**

$$P_3 = P_2 = 0,5 \text{ МПа}; \quad T_3 = t_3 + 273,2 = 1023,2 \text{ }^\circ\text{К};$$

$$\nu_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 1023,2}{0,5 \cdot 10^6} = 0,587 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\rho_3 = \frac{1}{\nu_3} = \frac{1}{0,587} = 1,704 \text{ кг/м}^3;$$

$$i_3 = C_p T_3 = 1,006 \cdot 1023,2 = 1029,3 \text{ кДж/кг};$$

$$u_3 = C_v T_3 = 0,719 \cdot 1023,2 = 735,7 \text{ кДж/кг};$$

$$s_3 = C_p \ln \frac{T_3}{T_0} - R \ln \frac{P_3}{P_0} = 1,006 \ln \frac{1023,2}{273,2} - 0,287 \ln \frac{0,5}{0,101} = 0,869 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

**Точка 4.**

$$P_4 = P_1 = 0,1 \text{ МПа};$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{k-1}{k}};$$

$$T_4 = \frac{T_3}{\left( \frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{1023,2}{\left( \frac{0,5}{0,1} \right)^{1,4}} = 645,8 \text{ К};$$

$$t_4 = T_4 - 273,2 = 372,6 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$\nu_4 = \frac{RT_4}{P_4} = \frac{287 \cdot 645,8}{0,1 \cdot 10^6} = 1,85 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\rho_4 = \frac{1}{\nu_4} = \frac{1}{1,85} = 0,54 \text{ кг/м}^3;$$

$$i_4 = C_p T_4 = 1,006 \cdot 645,8 = 649,7 \text{ кДж/кг};$$

$$u_4 = C_v T_4 = 0,719 \cdot 645,8 = 470,8 \text{ кДж/кг};$$

$$s_4 = C_p \ln \frac{T_4}{T_0} - R \ln \frac{P_4}{P_0} = 1,006 \ln \frac{645,8}{273,2} - 0,287 \ln \frac{0,1}{0,101} = 0,869 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

2. Построение цикла в координатах  $P$ - $\nu$  и  $T$ - $s$ .

Процессы, изображаемые в  $P$ - $\nu$  и  $T$ - $s$  координатах, необходимо строить не менее чем по трем точкам.

Для нахождения параметров промежуточных точек вначале надо принять произвольно значение одного какого-либо параметра таким образом, чтобы это значение находилось между его численными значениями в крайних точках процесса. Последующий параметр определяется из уравнения, характеризующего данный процесс, составленного для одной (любой) из крайних точек процесса и для промежуточной точки.

**Процесс 1-2.** Точка «а». Принимаем  $P_a = 0,3 \text{ МПа}$ . По уравнению адиабаты идеального газа  $P\nu^k = C$  для точек «а» и 1 имеем  $P_a \nu_a^k = P_1 \nu_1^k$  или

$$\frac{1}{P_a^k \nu_a} = \frac{1}{P_1^k \nu_1}$$

$$\nu_a = \nu_1 \left( \frac{P_1}{P_a} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,827 \left( \frac{0,1}{0,3} \right)^{1,4} = 0,377 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$T_a = \frac{P_a \cdot \nu_a}{R} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,377}{287} = 394,1 \text{ К};$$

$$t_a = 120,9 \text{ }^\circ\text{С};$$

$$i_a = C_p T_a = 1,006 \cdot 394,1 = 396,5 \text{ кДж/кг};$$

$$u_a = C_v T_a = 0,719 \cdot 394,1 = 283,4 \text{ кДж/кг};$$

$$s_a = C_p \ln \frac{T_a}{T_0} - R \ln \frac{P_a}{P_0} = 1,006 \ln \frac{394,1}{273,2} - 0,287 \ln \frac{0,3}{0,101} = 0,0569 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

Аналогично определяются параметры на всех других процессах рассматриваемого цикла. По найденным значениям строится цикл в координатах  $P$ - $\nu$  и  $T$ - $s$ . Масштаб выбирается произвольно исходя из численных значений параметров.

3. Определение работы, количества подведенного или отведенного тепла, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии для каждого процесса цикла.

**Процесс 1-2** (адиабатический,  $\delta q = 0$ )

$$q_{1,2} = \Delta u + l_{1,2} = \Delta i + w_{1,2} = 0$$

Потенциальная работа

работа затрачивается.  $w_{1,2} = i_1 - i_2 = C_p(T_1 - T_2) = 1,006(288,2 - 456,7) = -169,5$  кДж/кг –

Термодинамическая работа

$$l_{1,2} = u_1 - u_2 = C_v(T_1 - T_2) = 0,719(288,2 - 456,7) = -121,2 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i = i_2 - i_1 = 169,5 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta u = u_2 - u_1 = 121,2 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta s_{1,2} = 0, \text{ так как } q_{1,2} = 0.$$

**Процесс 2-3** (изобарический,  $P = \text{idem}$ )

тепло подводится

$$l_{2,3} = P_2(v_3 - v_2) = 0,5 \cdot 10^5(0,587 - 0,262) = 0,162 \cdot 10^5 \text{ кДж/кг};$$

$$w_{2,3} = 0;$$

$$q_{2,3} = i_3 - i_2 = C_p(T_3 - T_2) = 1,006(1023,2 - 456,7) = 569 \text{ кДж/кг},$$

$$\Delta u_{2,3} = C_v(T_3 - T_2) = 0,719(1023,2 - 456,7) = 407,3 \text{ кДж/кг};$$

$$l_{2,3} = q_{2,3} + \Delta u_{2,3} = 569,7 - 407,3 = 162 \text{ кДж/кг},$$

$$\Delta s_{2,3} = C_p \ln \frac{T_3}{T_2} = 1,006 \ln \frac{1023,2}{456,7} = 0,812 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К},$$

$$\Delta s_{2,3} = s_3 - s_2 = 0,812 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

**Процесс 3-4** (адиабатический,  $\delta q = 0$ )

$$q_{3,4} = \Delta u_{3,4} + l_{3,4} = \Delta i_{3,4} + w_{3,4} = 0;$$

$$w_{3,4} = i_3 - i_4 = C_p(T_3 - T_4) = 1,006(1023,2 - 645,8) = 379,7 \text{ кДж/кг};$$

$$l_{3,4} = u_3 - u_4 = C_v(T_3 - T_4) = 271,4 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta s_{3,4} = 0, \text{ так как } q_{3,4} = 0.$$

**Процесс 4-1** (изобарический,  $P = \text{idem}$ )

тепло отводится.

$$q_{4,1} = \Delta i_{4,1} + w_{4,1} = C_p(T_1 - T_4) = 1,006(288,2 - 645,8) = -359,7 \text{ кДж/кг} -$$

$$\Delta u_{4,1} = C_v(T_1 - T_4) = 0,719(288,2 - 645,8) = -257,1 \text{ кДж/кг};$$

$$l_{4,1} = P(v_1 - v_4) = 0,5 \cdot 10^5(0,827 - 1,85) = -0,102 \cdot 10^5 \text{ кДж/кг};$$

из первого начала термодинамики  $q_{4,1} = \Delta u_{4,1} + l_{4,1}$  имеем:

$$l_{4,1} = q_{4,1} - \Delta u_{4,1} = -359,7 - (-257,1) = -102,6 \text{ кДж/кг} - \text{ работа подводится}$$

$$\Delta s_{4,1} = C_p \ln \frac{T_1}{T_4} = 1,006 \ln \frac{288,2}{645,8} = -0,812 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К},$$

или

$$\Delta s_{4,1} = s_1 - s_4 = 0,056 - 0,868 = -0,812 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

Данные вычислений сводятся в табл. 1, 2.

Таблица 1

Точки	Параметры						
	$P$ , МПа	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$t$ , °С	$T$ , К	$l$ , кДж/кг	$u$ , кДж/кг	$s$ , кДж/кг·К
1	0,1	0,827	15	288,2	289,9	207,2	0,057
2	0,5	0,262	183,5	456,7	459,4	328,4	0,057
3	0,5	0,587	750	1023,2	1029,3	735,7	0,869
4	0,1	1,85	372,6	645,8	649,7	470,8	0,869

Таблица 2

Процессы	Результаты вычислений по процессам					
	$l$ , кДж/кг	$w$ , кДж/кг	$\Delta i$ , кДж/кг	$\Delta u$ , кДж/кг	$q$ , кДж/кг	$\Delta s$ , кДж/кг·К
1-2	-121,2	-169,5	169,5	121,2	0	0
2-3	162	0	567,7	407,3	569,7	0,812
3-4	274,4	379,7	-379,4	271,4	0	0
4-1	-109,6	0	-359,7	-257,1	-359,7	-0,812

**Работа цикла**

Термодинамическая работа

$$l_u = l_{1,2} + l_{2,3} + l_{3,4} + l_{4,1} = -121,2 + 162 + 271,4 - 102,6 \approx 210 \text{ кДж/кг}.$$

Потенциальная работа

$$w_u = w_{1,2} + w_{2,3} + w_{3,4} + w_{4,1} = -169,5 + 379,7 = 210 \text{ кДж/кг}.$$

В круговых процессах  $l_u = w_u$ .

Количество полезно использованного тепла в цикле

$$q_{\text{пол}} = q_{2,3} - q_{4,1} = 210 \text{ кДж/кг}.$$

В круговом термодинамическом процессе количество подведенного тепла численно равно работе:

$$q = l_u = w_u = 210 \text{ кДж/кг}.$$

Термический КПД цикла

$$\eta_t = \frac{q_{пол}}{q_{подв}} = \frac{210}{569,7} = 0,3686 \cong 37\% .$$

КПД цикла Карно, имеющего одинаковые с расчетным циклом максимальную и минимальную температуры

$$\eta_t^k = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{288,2}{1023,2} = 0,7183 \cong 72\% .$$

$$\eta_t^k > \eta_t .$$

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

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Основные термические и калорические параметры состояния идеальных газов. Давление, удельный объем.
2. Температура. Способы замера температур. Шкалы температур.
3. Понятие идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.
4. Понятие об обратимых и необратимых, равновесных и неравновесных процессах.
5. Работа и внутренняя энергия.
6. Тепловой насос. Трансформаторы теплоты.
7. Теплоемкость. Виды теплоемкостей и связь между ними. Определение количества теплоты через теплоемкости.
8. Изохорный процесс идеального газа и его исследование.
9. Изобарический процесс идеального газа и его исследование.
10. Изотермический процесс идеального газа и его исследование.
11. Адиабатический процесс идеального газа и его исследование.
12. Политропный процесс и его исследование.
13. Смеси идеальных газов. Способы задания газовых смесей. Соотношения между массовыми, объемными и мольными долями.
14. Закон Дальтона.
15. Влажный воздух. Параметры влажного воздуха.
16. Построение Id-диаграммы влажного воздуха. Характеристика параметров.
17. Температура точки росы и мокрого термометра.
18. Теоретический и практический процесс сушки. Характеристика теплотер при сушке материалов.
19. Первый закон термодинамики. Формулировка и математическое представление.
20. Уравнение первого закона термодинамики для потока.
21. Цикл Карно и его анализ.
22. Второй закон термодинамики. “Тепловая смерть” Вселенной.
23. Понятие энтропии. Энтропийная S-T-диаграмма.
24. Реальные газы и пары. Уравнение состояния реальных газов Ван-дер-Ваальса.
25. Качественные особенности реальных газов.
26. IS-диаграмма водяного пара. Изображение процессов изменения состояния водяного пара в IS-диаграмме.
27. Процесс парообразования в PV-, TS- и iS-диаграммах при V=Const.

- Анализ процесса.
28. Процесс парообразования в PV-, TS- и iS-диаграммах при  $P=Const$ . Анализ процесса.
  29. Процесс парообразования в PV-, TS- и iS-диаграммах при  $T=Const$ . Анализ процесса.
  30. Изоэнтальпный процесс водяного пара и его анализ.
  31. Паросиловой цикл Ренкина. Элементы схемы.
  32. Анализ паросилового цикла в PV-, TS- и iS- диаграммах. Термический КПД цикла.
  33. Регенеративные циклы паросиловых установок.
  34. Циклы турбин с промежуточным отбором пара.
  35. Комбинированный и раздельный методы производства тепловой и электрической энергии в турбинах с регулируемым отбором.. Технико-экономическое сравнение
  36. Дросселирование газов и паров.
  37. Расчет процесса дросселирования водяного пара с применением is-диаграммы.
  38. Дифференциальный дроссель-эффект.
  39. Интегральный дроссель-эффект.
  40. Кривая инверсии.
  41. Абсорбционная холодильная установка.
  42. Компрессионные паровые холодильные установки.
  43. Воздушная холодильная установка.
  44. Идеальная холодильная машина, использующая обратный цикл Карно.
  45. Циклы поршневых ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме.
  46. Циклы поршневых ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении.
  47. Циклы поршневых ДВС с подводом теплоты при  $V=Const$  и  $P=Const$ .
  48. Сжатие газов и паров. Одноступенчатый компрессор.
  49. Многоступенчатый компрессор.
  50. Мощность на валу одноступенчатого и многоступенчатого компрессоров.

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

Экзамен может проводиться устно, письменно, а также с использованием технических средств.

Устное проведение испытания предполагает задание вопросов преподавателем и ответы на них студента. Из количества правильных ответов складывается итоговая оценка.

Экзаменационный билет обычно содержит два теоретических вопроса и одну задачу. Преподаватель имеет право задавать дополнительные вопросы, не связанные с тематикой конкретного экзаменационного билета.

Письменный экзамен может быть проведен по тест-билетам. Тест-билет содержит определенное количество вопросов. Могут быть использованы разные типы вопросов. Например, необходимо выбрать правильный ответ (указать его выделением каким-либо образом) из

предложенных вариантов ответа или вписать правильный ответ и т.д. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Из количества правильных ответов (набранных баллов) складывается итоговая оценка. Например, если тест состоит из 10 вопросов, то оценка «отлично» выставляется в случае, если студент набрал 9 или 10 баллов; «хорошо» - 7 или 8 баллов; «удовлетворительно» - 6 баллов; «неудовлетворительно» - менее 6 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия и определения термодинамики.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
2	Термодинамические процессы.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
3	Водяной пар.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
4	Параметры влажного воздуха.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
5	Поршневой компрессор.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
6	Паросиловые установки.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
7	Двигатели внутреннего сгорания.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы
8	Циклы воздушных, компрессионных холодильных установок.	ОПК-1	Тест, защита лабораторных работ, защита курсовой работы

### 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 зависит от количества и типа заданий и составляет в среднем 1 минуту на 1 вопрос. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике 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**

Основная литература

1. Техническая термодинамика и теплотехника [Электронный ресурс] / сост.: А. А. Хащенко, М. Ю. Калиниченко, А. Н. Вислогузов. - Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2017. - 107 с. - ISBN 2227-8397.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/75606.html>

2. Техническая термодинамика и теплотехника : практикум / сост. А. А. Хащенко; сост. М. Ю. Калиниченко; сост. А. Н. Вислогузов; Министерство образования и науки РФ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2017. - 107 с. : ил. - Библиогр. в кн.

---

3. Овчинников, Ю. В.

Основы теплотехники [Электронный ресурс] : Учебник / Ю. В. Овчинников, С. Л. Елистратов, Ю. И. Шаров. - Основы теплотехники ; 2025-02-05. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. - 554 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7782-3453-6.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/91274.html>

4. Теплотехника [Электронный ресурс] : Учебное пособие / А. В. Гдалев [и др.]. - Теплотехника ; 2020-02-05. - Саратов : Научная книга, 2019. - 287 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2020 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-9758-1790-7.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/81061.html>

5. Расчет процессов теплопроводности и конвективного теплообмена [Текст] : методические указания к выполнению курсовой и практической работы по дисциплинам: "Тепломассообмен", "Теплогазоснабжение с основами теплотехники", "Энергосбережение в

теплоэнергетике", "Технические средства и методы защиты окружающей среды", "Техническая термодинамика и теплотехника" для бакалавров направлений 08.03.01 "Строительство", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.03.01 "Нефтегазовое дело", 18.03.01 "Химическая технология" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : В. Н. Мелькумов, Н. А. Петрикеева. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 38 с. : ил. : табл. - Библиогр.: с. 29 (4 назв.).

6. Экспериментальное исследование процессов теплообмена [Текст] : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам: "Тепломассобмен", "Теплогазоснабжение с основами теплотехники", "Техническая термодинамика и теплотехника" для студентов направлений подготовки 08.03.01 "Строительство", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.03.01 "Нефтегазовое дело", 18.03.01 "Химическая технология" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : В. Н. Мелькумов, Н. А. Петрикеева, А. И. Колосов, Д. М. Чудинов. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 28 с. : ил. : табл.

7. Термодинамические основы производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ, КЭС и в районных котельных [Текст] : методические указания к выполнению практических занятий и курсового проекта (работ) для студентов направления подготовки 08.03.01 "Строительство", 21.03.01 "Нефтегазовое дело", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : Д. Н. Китаев, Г. Н. Мартыненко. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 39 с. : ил. : табл. - Библиогр.: с. 30 (4 назв.).

8. Исследование термодинамических параметров газов [Текст] : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Техническая термодинамика" для студентов направлений подготовки 08.03.01 "Строительство", 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника", 21.03.01 "Нефтегазовое дело" всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела ; сост. : Д. Н. Китаев, Г. Н. Мартыненко. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 36 с. : ил. : табл. - Библиогр.: с. 32 (5 назв.).

#### Дополнительная литература

1. Молекулярная физика и термодинамика [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Т. В. Дубовицкая [и др.]. - Молекулярная физика и термодинамика ; 2025-03-01. - Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2018. - 90 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7731-0696-8.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/93269.html>

2. Кузнецов, О. А. Термодинамика в нефтегазоперерабатывающей и химической промышленности : монография / О.А. Кузнецов. - Москва|Берлин :

Директ-Медиа, 2019. - 165 с. : табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4499-0080-7.

3. Крайнов, А. В. Термодинамика и теплопередача. Часть 1. Термодинамика [Электронный ресурс] : Учебное пособие / А. В. Крайнов, Е. Н. Пашков. - Томск : Томский политехнический университет, 2017. - 160 с. - ISBN 978-5-4387-0769-1.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/84039.html>

4. Термодинамика фазовых превращений и диффузия в металлах и сплавах [Электронный ресурс] : Учебное пособие / Ю. Н. Малютина [и др.]. - Термодинамика фазовых превращений и диффузия в металлах и сплавах ; 2025-02-05. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. - 108 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопродлонгация). - ISBN 978-5-7782-3312-6.

URL: <http://www.iprbookshop.ru/91453.html>

**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:**

#### **Лицензионное программное обеспечение**

- Microsoft Office Word 2013/2007;
- Microsoft Office Excel 2013/2007;
- Microsoft Office Power Point 2013/2007;
- Гранд-Смета;
- Acrobat Professional 11.0 MLP;
- Maple v18;
- AutoCAD;
- 7zip;
- PDF24 Creator;
- Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ»

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

- Российское образование. Федеральный образовательный портал: учреждения, программы, стандарты, Вузы, ... код доступа: <http://www.edu.ru/>
- Образовательный портал ВГТУ, код доступа: <https://old.education.cchgeu.ru>

#### **Информационные справочные системы**

- Бесплатная электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам», код доступа: <http://window.edu.ru/>;
- ВГТУ: wiki, код доступа: <https://wiki.cchgeu.ru/>;
-

- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», код доступа <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks, код доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа: <http://elibrary.ru/>

#### **Современные профессиональные базы данных**

- East View, код доступа: <https://dlib.eastview.com/>
- Academic Search Complete, код доступа: <http://search.ebscohost.com/>
- Нефтегаз.ру, код доступа: <https://neftegaz.ru/>
- «Геологическая библиотека» – интернет-портал специализированной литературы, код доступа: <http://www.geokniga.org/maps/1296>
- Электронная библиотека «Горное дело», код доступа: <http://www.bibl.gorobr.ru/>
- «ГОРНОПРОМЫШЛЕННИК» – международный отраслевой ресурс, код доступа: <http://www.gornoprom.ru/>

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

Материально-техническая база включает:

- Специализированные лекционные аудитории, оснащенные оборудованием для лекционных демонстраций и проектором, стационарным экраном.
- Учебные аудитории, оснащенные необходимым оборудованием. Аудитории для проведения практических занятий, оборудованные проекторами, стационарными экранами и интерактивными досками.
- Помещения для самостоятельной работы студентов, оснащенные компьютерной техникой с выходом в сеть "Интернет".
- Библиотечный электронный читальный зал с доступом к электронным ресурсам библиотеки и доступом в образовательный портал ВГТУ.

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

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

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 расчета термодинамических процессов. 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 курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить 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, просмотр рекомендуемой литературы. 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: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
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 экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.