

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Парлюк Екатерина Петровна

Должность: И.о. директора института механики и энергетики имени В.П. Горячкина

Дата подписания: 17.07.2023 10:21:52

Уникальный программный ключ:

7823a3d3181287ca51a86a4c69d33e1779345d45



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»  
(ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина  
Кафедра теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий

УТВЕРЖДАЮ:  
И.о. директора института механики и  
энергетики имени В.П. Горячкина  
И.Ю. Игнаткин  
“ 10 ” 2021 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Б1.О.12 «Техническая термодинамика»**  
(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

для подготовки бакалавров:

ФГОС ВО

Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Направленность: «Энергообеспечение предприятий»

Курс 3  
Семестр 5

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2021 г.

Москва 2021

Разработчик: Рудобашта С.П., д.т.н., профессор

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

«0» 09 2021 г.

Рецензент:

Андреев

С.А.

К.Т.Н.,

доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

«4» 09 2021 г.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и учебного плана

Программа обсуждена на заседании кафедры «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий» протокол № 3 от «23» 09 2021 г.

Зав. кафедрой Кожевникова Наталья Георгиевна, к.т.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

«23» 09 2021 г.

Согласовано:

Председатель учебно-методической комиссии института механики и энергетики имени В.П. Горячкина Чистова Я.С., к.п.н.

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

«18» 10 2021 г.

Заведующий выпускающей кафедрой Кожевникова Н.Г. к.т.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

(подпись)

«23» 09 2021 г.

Зав.отдела комплектования ЦНБ

(подпись)

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	5
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ .....	5
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
4.1 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ .....	6
ПО СЕМЕСТРАМ .....	6
4.2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	9
4.3 ЛЕКЦИИ/ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ .....	13
5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	21
6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	22
6.1. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ И НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	22
6.2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ.....	36
7.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	40
7.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	40
7.2 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	40
7.3 НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ.....	40
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	41
9. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ .....	41
СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ .....	41
10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	42
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ .....	43
11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ .....	43
ДИСЦИПЛИНЫ .....	43
Виды и формы отработки пропущенных занятий .....	44
12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....	44

## АННОТАЦИЯ

рабочей программы учебной дисциплины Б1.О.12 «Техническая термодинамика» для подготовки бакалавров по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Энергообеспечение предприятий»

**Цель освоения дисциплины:** Целью освоения дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование у обучающихся компетенций, обеспечивающих способность к решению производственно-технологических и расчетно-проектных задач профессиональной деятельности, а именно: формулировать в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение, определять ожидаемые результаты; проектировать решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; решать конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время; использовать знания основных законов математических и естественных наук для решения стандартных задач в области эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин; использовать современные методы экспериментальных исследований и испытаний в профессиональной деятельности; под руководством специалиста более высокой квалификации участвовать в проведении экспериментальных исследованиях процессов и испытаниях в профессиональной деятельности.

**Место дисциплины в учебном плане:** дисциплина включена в обязательную часть учебного плана по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» цикл Б1.О, дисциплина осваивается в 5 семестре.

**Требования к результатам освоения дисциплины:** в результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции) : ОПК-3.1, ОПК-3.2, ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5.

**Краткое содержание дисциплины:** Основные понятия и определения технической термодинамики. Газовые смеси. Теплоемкость . Первый закон термодинамики для закрытых систем. Первый закон термодинамики для открытых систем. Исследование термодинамических процессов. Второй закон термодинамики. Эксергия. Анализ второго закона термодинамики. Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Реальные газы и пары. Водяной пар. Влажный воздух. Истечение газа из сопел и диффузоров. Двигатели внутреннего сгорания. Термодинамический анализ работы компрессора. Многоступенчатый компрессор. Паротурбинные установки. Теплофикация. Газопаровые и парогазовые установки. Когенерация. Циклы холодильных установок и тепловых насосов.

**Общая трудоемкость дисциплины:** 6 зач. единиц (216 часов).

**Промежуточный контроль:** экзамен, КР.

## **1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью освоения дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование у обучающихся компетенций, обеспечивающих способность к решению производственно-технологических и расчетно-проектных задач профессиональной деятельности, а именно: формулировать в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение, определять ожидаемые результаты; проектировать решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; решать конкретные задачи проекта заявленного качества и за установленное время; использовать знания основных законов математических и естественных наук для решения стандартных задач в области эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин; использовать современные методы экспериментальных исследований и испытаний в профессиональной деятельности; под руководством специалиста более высокой квалификации участвовать в проведении экспериментальных исследованиях процессов и испытаниях в профессиональной деятельности.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Дисциплина «Техническая термодинамика» включена в обязательный перечень дисциплин учебного плана базовой части блока Б1.О.12. Дисциплина «Техническая термодинамика реализуется в соответствии с требованиями ФГОС ВО, Учебного плана по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» направленность «Энергообеспечение предприятий».

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Техническая термодинамика» являются математика (1, курс, 1, 2 и 3 семестры), химия (1 курс, 2 семестр), начертательная геометрия и инженерная графика(1 курс, 1 и 2 семестры) физика (2 курс, 3 и 4 семестры), теоретическая механика (2 курс, 3 семестр).

Дисциплина «Техническая термодинамика» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Тепломассообмен», «Тепломассообменное оборудование предприятий», «Источники и системы теплоснабжения предприятий», «Тепловые двигатели и нагнетатели», «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях», «Процессы и аппараты», «Применение теплоты в АПК».

Особенностью дисциплины является не только ее теоретическое, но и прикладное значение при подготовке бакалавров данного профиля. Знания, полученные в ходе освоения дисциплины «Техническая термодинамика» необходимы для реализации производственно-технологического и расчетно-проектного видов деятельности, а именно формулирования в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение, определения ожидаемых результатов; проектирования решения конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения,

исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; решения конкретных задач проекта заявленного качества и за установленное время; использования знаний основных законов математических и естественных наук для решения стандартных задач в области выполнения теплотехнических расчетов и эффективной эксплуатации теплоэнергетического и теплотехнологического оборудования различного назначения, использования современных методов экспериментальных исследований и испытаний в профессиональной деятельности; под руководством специалиста более высокой квалификации участия в проведении экспериментальных исследований процессов и испытаниях в профессиональной деятельности.

Рабочая программа дисциплины «Техническая термодинамика» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

#### **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам**

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зач. единиц (216 часов), их распределение по видам работ семестрам представлено в таблице 1.

Таблица 1

## Требования к результатам освоения учебной дисциплины

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
1	ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.1 Применяет математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов	математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов	применять математический аппарат исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов для анализа и расчета термодинамических процессов в теплотехнике	методами применения математического аппарата исследования функций, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, рядов, дифференциальных уравнений, теории функций комплексного переменного, численных методов для анализа и расчета термодинамических процессов в теплотехнике
			ОПК-3.2 Демонстрирует понимание физических явлений и применяет законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма, оптики	физические явления, протекающие в термодинамических системах, законы термодинамики	анализировать физические явления, протекающие в термодинамических системах, применять законы термодинамики для расчета термодинамических процессов	методами анализа физических явлений, протекающих в термодинамических системах, и расчета термодинамических процессов и теплотехнических

						устройств
2	ОПК-4	Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-4.3 Использует знание теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем	теплофизические свойства рабочих тел и их применение при расчетах теплотехнических установок и систем	применять теплофизические свойства рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем	методами применения теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем
			ОПК-4.4 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений	основные законы термодинамики и термодинамические соотношения	применять в расчетах основные законы термодинамики и термодинамические соотношения	методами применения в расчетах основных законов термодинамики и термодинамических соотношений
			ОПК-4.5 Применяет знания основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	основы термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	применять знания основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	методами применения основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей

### Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Таблица 2 Вид учебной работы	Трудоёмкость	
	час.	семестр
		№ 5
<b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану	<b>216</b>	<b>216</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>72,4</b>	<b>72,4</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>72,4</b>	<b>72,4</b>
в том числе		
<i>лекции (Л)</i>	34	34
<i>практические занятия (ПЗ)</i>	34	34
<i>курсовая работа (консультации, защита)</i>	2	2
<i>консультации перед экзаменом</i>	2	2
<i>контактная работа на промежуточном контроле (КРА)</i>	0,4	0,4
<b>Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>143,6</b>	<b>143,6</b>
<i>курсовая работа (КР) (подготовка)</i>	36	36
<i>самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к практическим занятиям и т.д.)</i>	83	83
<i>Подготовка к экзамену</i>	24,6	24,6
Вид промежуточного контроля:	КР, экзамен	

### 4.2 Содержание дисциплины

Таблица 3

#### Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ	ЛР	ПКР	
<b>Раздел 1 «Основные закономерности технической термодинамики»</b>	<b>94</b>	<b>22</b>	<b>22</b>			<b>50</b>
Тема 1. Основные понятия и определения технической термодинамики	6	1	1			4
Тема 2. Газовые смеси	8	2	2			4
Тема 3. Теплоёмкость	8	2	2			4
Тема 4. Первый закон термодинамики для закрытых систем	8	2	2			4
Тема 5. Первый закон термодинамики для открытых	8	2	2			4

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ	ЛР	ПКР	
систем						
Тема 6. Исследование термодинамических процессов	8	2	2			4
Тема 7. Второй закон термодинамики. Эксергия.	8	2	2			4
Тема 8. Анализ второго закона термодинамики	6	1	1			4
Тема 9. Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)	8	2	2			4
Тема 10. Реальные газы и пары. Водяной пар	8	2	2			4
Тема 11. Влажный воздух	10	2	2			6
Тема 12. Истечение газа из сопел и диффузоров. Дросселирование	8	2	2			4
<b>Раздел 2 «Термодинамический анализ теплотехнических устройств»</b>	<b>57</b>	<b>12</b>	<b>12</b>			<b>33</b>
Тема 13. Двигатели внутреннего сгорания	6	2	2			6
Тема 14. Термодинамический анализ работы компрессора	6	2	2			6
Тема 15. Многоступенчатый компрессор	6	2	2			6
Тема 16. Паротурбинные установки. Теплофикация	6	2	2			5
Тема 17. Газопаровые и парогазовые установки. Когенерация	4,5	2	2			5
Тема 18. Циклы холодильных установок и тепловых насосов.	4,5	2	2			5
<b>Курсовая работа (КР) (консультация, защита)</b>	2				2	
<b>Курсовая работа (КР) (подготовка)</b>	36					36
<b>Консультации перед экзаменом</b>	2				2	
<b>Контактная работа на промежуточном контроле (КРА)</b>	0,4				0,4	
<b>Контроль (подготовка к экзамену)</b>	24,6					24,6
<b>Всего за 5 семестр</b>	<b>216</b>	<b>34</b>	<b>34</b>		<b>4,4</b>	<b>143,6</b>
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>216</b>	<b>34</b>	<b>34</b>		<b>4,4</b>	<b>143,6</b>

## **4.2 Содержание дисциплины**

### **Раздел 1. Основные закономерности технической термодинамики**

#### **Тема 1. Основные понятия и определения технической термодинамики**

Предмет технической термодинамики и ее методы. Термодинамическая система. Параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Энтропия. Равновесное и неравновесное состояние. Уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа. Теплота и работа как формы передачи энергии. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы).

#### **Тема 2. Газовые смеси**

Способы задания состава смеси, соотношения между массовыми, объемными и мольными долями. Понятие парциального давления и парциального объема компонента в смеси. Закон Дальтона. Кажущаяся молярная масса и газовая постоянная смеси, формулы для их вычисления. Теплоемкость газовой смеси.

#### **Тема 3. Теплоемкость**

Массовая, объемная и мольная теплоемкости. Теплоемкость при постоянном объеме и постоянном давлении. Зависимость теплоемкости от температуры и давления. Средняя и истинная теплоемкости. Формулы и таблицы для определения теплоемкости.

#### **Тема 4. Первый закон термодинамики для закрытых систем**

Сущность первого закона термодинамики. Формулировка и аналитическое выражение первого закона термодинамики для закрытых систем. Работа расширения газа. Определение теплоты, изменения внутренней энергии и энтальпии через термодинамические параметры состояния.  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  диаграммы.

#### **Тема 5. Первый закон термодинамики для открытых систем**

Уравнение первого закона термодинамики для потока. Выражение первого закона термодинамики для потока применительно к различным теплотехническим устройствам (тепловой двигатель, компрессор, теплообменный аппарат, сопло, дроссель).

#### **Тема 6. Исследование термодинамических процессов**

Методы исследования. Исследование изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного процессов. Формулы соотношения параметров в начале и конце процесса. Изменение внутренней энергии, теплота и работа расширения. Изображение процесса в  $p, v$  - и  $T, s$  - координатах. Политропный процесс. Уравнение политропы. Теплоёмкость политропного процесса, Ход политропного процесса в  $p, v$  - и  $T, s$  - координатах в зависимости от знака  $\Delta u$  и  $q$ .

#### **Тема 7. Круговые термодинамические процессы (циклы). Второй закон термодинамики. Эксергия.**

Прямые и обратные круговые процессы (циклы). Термодинамические циклы тепловых и холодильных машин. Сущность и формулировки второго закона термодинамики применительно к тепловым и холодильным машинам. Термический КПД и холодильный коэффициент. Эксергия. Эксергетический КПД.

#### **Тема 8. Анализ второго закона термодинамики**

Прямой и обратный обратимые циклы Карно и анализ их свойств. Приведенная теплота. Изменение энтропии в обратимых и необратимых круговых процессах. Изменение энтропии в изолированной термодинамической системе.

#### **Тема 9. Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)**

Допущения, принимаемые при формулировке понятия «идеальный цикл ДВС». Циклы с подводом теплоты: 1) при постоянном объеме, 2) при постоянном давлении 3) со смешанным подводом теплоты. Изображение циклов ДВС в  $p, v$  - и  $T, s$  - координатах. Подводимая и отводимая теплота в цикле, работа за цикл. Термический КПД цикла. Графоаналитическое сравнение циклов.

#### **Тема 10. Реальные газы и пары. Водяной пар**

Уравнение состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Коэффициент сжимаемости. Процесс парообразования: основные понятия и определения. Фазовые состояния воды.  $p, t$  – диаграмма жидкости. Параметры состояния воды и водяного пара.  $P-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$  диаграммы водяного пара. Тройная точка. Критическая точка водяного пара.

#### **Тема 11. Влажный воздух**

Влажный воздух: основные понятия и определения. Абсолютная влажность, влагосодержание, относительная влажность воздуха, парциальное давление пара. Теплоемкость и энтальпия влажного воздуха.  $H-d$  диаграмма влажного воздуха и изображение в ней основных процессов изменения параметров воздуха.

#### **Тема 12. Истечение газа из сопел и диффузоров. Дросселирование**

Истечение газа из суживающегося сопла. Сверхзвуковое истечение газа из сопла. Сопло Лавалля. Истечение водяного пара из сопла. Закономерности дросселирования газов. Расчет дросселирования водяного пара с помощью  $h, s$  – диаграммы. Дроссельный эффект.

### **Раздел 2. Термодинамический анализ теплотехнических устройств**

#### **Тема 13. Двигатели внутреннего сгорания**

Общая характеристика и классификация. Принцип действия и рабочие циклы. Показатели экономичности работы двигателей. Тепловой баланс.

#### **Тема 14. Термодинамический анализ работы компрессора**

Определение компрессора. Классификация компрессоров и принцип их действия. Одноступенчатый компрессор с изотермическим, адиабатным и политропным сжатием. Изображение в  $p-v$  и  $T-s$  координатах термодинами-

ческих процессов, протекающих в компрессорах. Работа, затрачиваемая на привод компрессора. Эффективный КПД компрессора.

#### **Тема 15. Многоступенчатый компрессор**

Мёртвое пространство и его влияние на работу компрессора. Многоступенчатый компрессор. Преимущества и недостатки многоступенчатого компрессора. Область применения.

#### **Тема 16. Паротурбинные установки. Теплофикация.**

Цикл Ренкина на перегретом паре. Изображение цикла в  $p, v$ -  $T, s$  - и  $h, s$  - координатах. Термический КПД и пути его повышения. Удельный расход пара. Пути повышения экономичности паросиловых установок. Теплофикация. Теплофикационные циклы.

#### **Тема 17. Газопаровые и парогазовые установки. Когенерация.**

Схемы газопаровых и парогазовых установок. Газопаровые и парогазовые циклы. КПД. Распределенное производство энергии. Когенерация на основе турбинных установок и двигателей внутреннего сгорания.

#### **Тема 18. Циклы холодильных установок и тепловых насосов.**

Общая характеристика холодильных установок. Холодильные агенты. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность. Принципиальная схема и термодинамический цикл газокompрессионной холодильной установки. Дроссельный эффект. Принципиальная схема и термодинамические циклы парокompрессионной холодильной установки. Понятие об абсорбционной и парожеткторной холодильных установках. Тепловые насосы. Коэффициент преобразования теплоты.

### **4.3 Лекции/практические занятия**

Таблица 4

#### **Содержание лекций и практических занятий, контрольные мероприятия**

<b>№ п/п</b>	<b>№ раздела</b>	<b>№ и название лекций, практических занятий</b>	<b>Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)</b>	<b>Вид контрольного мероприятия</b>	<b>Кол-во часов</b>
1.	<b>Раздел 1. «Основные закономерности технической термодинамики»</b>				<b>44</b>
	<b>Тема 1. Основные понятия и определения технической термодинамики</b>	Лекция № 1. Основные понятия и определения технической термодинамики	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 1. Расчеты с использованием понятия «параметры состояния газа»	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3)	Решение задач	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций, практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
			(ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		
	<b>Тема 2. Газовые смеси</b>	Лекция № 2. Газовые смеси	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		1
		Практическое занятие № 2. Расчеты с газовыми смесями	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
	<b>Тема 3. Теплоемкость</b>	Лекция № 3. Теплоемкость	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 3. Расчеты с использованием понятия теплоемкости	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
	<b>Тема 4. Первый закон термодинамики для закрытых систем</b>	Лекция № 4. Первый закон термодинамики для закрытых систем	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 4. Расчеты с применением первого закона термодинамики для закрытых систем	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций, практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	<b>Тема 5.</b> Первый закон термодинамики для открытых систем	Лекция № 5. Первый закон термодинамики для открытых систем	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		1
		Практическое занятие № 5. Термодинамические расчеты для открытых систем	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач	2
	<b>Тема 6.</b> Исследование термодинамических процессов	Лекция № 6. Исследование термодинамических процессов	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 6. Расчеты термодинамических процессов	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
	<b>Тема 7.</b> Круговые термодинамические процессы (циклы). Второй закон термодинамики. Эксергия.	Лекция № 7. Круговые термодинамические процессы (циклы). Второй закон термодинамики. Эксергия.	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 7. Круговые термодинамические процессы (циклы). Термодинамические расчеты с использованием второго закона термодинамики	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	1
	<b>Тема 8.</b> Анализ второго закона термодинамики	Лекция № 8. Анализ второго закона термодинамики	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4	Решение задач.	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций, практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
			(ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		
		Практическое занятие № 8. Анализ второго закона термодинамики	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	1
	<b>Тема 9.</b> Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)	Лекция № 9. Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 9. Расчет идеального цикла ДВС	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач	2
	<b>Тема 10.</b> Реальные газы и пары. Водяной пар	Лекция № 10. Реальные газы и пары. Водяной пар	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 10. Расчеты термодинамических процессов и циклов с применением диаграмм и таблиц водяного пара.	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
	<b>Тема 11.</b> Влажный воздух	Лекция № 11. Влажный воздух	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций, практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		Практическое занятие № 11. h, d – диаграмма влажного воздуха и расчеты с ее применением	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
	<b>Тема 12.</b> Истечение газа из сопел и диффузоров. Дросселирование	Лекция № 12. Истечение газа из сопел и диффузоров. Дросселирование	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 12. Расчеты процессов истечения газа из сопел и диффузоров, дросселирования	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
2.	<b>Раздел 2. «Термодинамический анализ теплотехнических устройств»</b>				<b>24</b>
	<b>Тема 13.</b> Тепловые двигатели. Двигатели внутреннего сгорания	Лекция № 13. Двигатели внутреннего сгорания	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 13. Расчет энергетических характеристик двигателя внутреннего сгорания	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
	<b>Тема 14.</b> Термодинамический анализ работы компрессора	Лекция № 14. Термодинамический анализ работы компрессора.	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 14. Расчеты на истечение газа из сопла.	ОПК-2 (ОПК-2.2) ОПК-3 (ОПК-3.5)	Решение задач	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций, практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	<b>Тема 15.</b> Многоступенчатый компрессор.	Лекция № 15. Многоступенчатый компрессор	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 15. Расчет мощности, потребляемой компрессором. Подача компрессора.	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач	2
	<b>Тема 16.</b> Паротурбинные установки. Теплофикация.	Лекция № 16. Паротурбинные установки. Теплофикация.	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 16. Расчет термодинамических циклов паротурбинных установок.	ОПК-2 ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач.	2
	<b>Тема 17.</b> Газопаровые и парогазовые установки. Когенерация.	Лекция № 17. Газопаровые и парогазовые установки. Когенерация.	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 17. Расчет газопаровой установки	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций, практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	<b>Тема 18.</b> Циклы холодильных установок и тепловых насосов.	Лекция № 18. Циклы холодильных установок и тепловых насосов.	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)		2
		Практическое занятие № 18. Расчет пароконденсационной холодильной установки	ОПК-3 (ОПК-3.1) (ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3) (ОПК-4.4) (ОПК-4.5)	Решение задач	2

Таблица 5

**Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины**

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
<b>Раздел 1. Основные закономерности технической термодинамики</b>		
1.	Тема 1. Основные понятия и определения.	Единицы измерения. Соотношения между массовыми, объемными и молярными долями смеси. Кажущаяся молярная масса и газовая постоянная смеси, формулы для их вычисления. Формулы и таблицы для определения средней теплоемкости ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
2.	Тема 2. Газовые смеси	Состав воздуха. Состав дымовых газов при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
3.	Тема 3. Теплоемкость	Теплоемкость воздуха, Теплоемкость воды ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
4.	Тема 4. Первый закон термодинамики для закрытых систем	Допущения, принимаемые при формулировке понятия «идеальный цикл ДВС», позволяющие считать рабочее тело в цилиндре двигателя как закрытую систему ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
5.	Тема 5. Первый закон термодинамики для открытых систем	Отличия в записи первого закона термодинамики для открытых и закрытых систем ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
6.	Тема 6. Исследование термодинамических процессов	Значения показателя политропы для изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного процессов ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2)

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
		ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
7.	Тема 7. Второй закон термодинамики. Эксергия	Изменение энтропии в необратимых процессах. Изменение энтропии в изолированной термодинамической системе ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
8.	Тема 8. Анализ второго закона термодинамики	Трактовка второго закона термодинамики для тепловых машин и для холодильных машин ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
9.	Тема 9. Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)	Допущения, принимаемые при формулировке понятия «идеальный цикл ДВС» ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
10.	Тема 10. Реальные газы и пары. Водяной пар	Уравнения состояния реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
11.	Тема 11. Влажный воздух	Температура мокрого термометра и температура точки росы и их определение. ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
12.	Тема 12. Истечение газа из сопел и диффузоров. Дросселирование	Понятие дросселирования. Термодинамический анализ процесса. Дросселирование водяного пара ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
<b>Раздел 2. Термодинамический анализ теплотехнических устройств</b>		
13.	Тема 13. Двигатели внутреннего сгорания	Типы ДВС, понятия 2-х тактного и 4-х тактного двигателя ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
14.	Тема 14. Термодинамический анализ работы компрессора	Типы компрессоров по конструктивному исполнению ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
15.	Тема 15. Многоступенчатый компрессор	Преимущества и недостатки многоступенчатого компрессора по сравнению с одноступенчатым ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
16.	Тема 16. Паротурбинные установки. Теплофикация.	Когда исторически появилась теплофикация и что она дает ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
17.	Тема 17. Газопаровые и парогазовые установки. Когенерация.	Когда исторически появились газопаровые установки и каков их термический КПД ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)
18.	Тема 18. Циклы холодильных установок и тепловых насосов.	Типы холодильных машин ОПК-3 (ОПК-3.1, ОПК-3.2) ОПК-4 (ОПК-4.3, ОПК-4.4, ОПК-4.5)

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В основном применяется объяснительно-иллюстративная технология обучения, в случае вынужденного перехода на онлайн обучение применяются дистанционные образовательные технологии.

Таблица 6

### Применение активных и интерактивных образовательных технологий

№ п/п	Тема и форма занятия	Л	ПЗ	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
1.	Тема 1. Основные понятия и определения технической термодинамики.	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
2.	Тема 2. Газовые смеси	Л		Проблемная лекция. Объяснительно-иллюстративная технология.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
3.	Тема 3. Теплоемкость.	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация плакатов.
			ПЗ	Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
4.	Тема 4. Первый закон термодинамики для закрытых систем	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
5.	Тема 5. Первый закон термодинамики для открытых систем	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
6.	Тема 6. Исследование термодинамических процессов.	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
7.	Тема 7. Второй закон термодинамики. Эксергия.	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
8.	Тема 8. Анализ второго закона термодинамики	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
9.	Тема 9. Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
10.	Тема 10. Реальные газы и пары. Водяной пар	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
11.	Тема 11. Влажный воздух	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
			ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
12.	Тема 12. Истечение газа из сопел и	Л		Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.

№ п/п	Тема и форма занятия		Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
	диффузоров. Дросселирование	ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
13.	Тема 13. Двигатели внутреннего сгорания	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
		ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
14.	Тема 14. Термодинамический анализ работы компрессора	Л	Проблемная лекция. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
15.	Тема 15. Многоступенчатый компрессор	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
		ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
16.	Тема 16. Паротурбинные установки. Теплофикация.	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций. Иллюстрация слайд-презентаций.
		ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
17.	Тема 17. Газопаровые и парогазовые установки. Когенерация.	Л	Проблемная лекция. Иллюстрация слайд-презентаций.
		ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.
18.	Тема 18. Циклы холодильных установок и тепловых насосов.	Л	Проблемная лекция. Интерактивное занятие с применением видеоматериалов
		ПЗ	Объяснительно-иллюстративная технология.

## 6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности

**Курсовая работа** выполняется по 1-му разделу дисциплины «Основные закономерности технической термодинамики» (темы 9-11).

**Тематика курсовой работы:** «расчеты термодинамических процессов». Курсовая работа состоит из 3-х частей: 1) Расчет и построение идеального цикла ДВС со смешанным подводом теплоты, 2) Расчет и построение фрагмента диаграммы водяного пара, 3) Расчет и построение  $h, d$  – диаграммы влажного газа».

Часть 1 КР: «Рассчитать, проанализировать и изобразить в  $p-v$  и  $T-s$  координатах идеальный цикл ДВС со смешанным подводом теплоты». выполняется по теме 9 «Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС)».

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЕТУ ИДЕАЛЬНОГО ЦИКЛА ДВС СО СМЕШАННЫМ  
ПОДВОДОМ ТЕПЛОТЫ**

(КУРСОВАЯ РАБОТА ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ, часть 1)

№ п/п	$\varepsilon$	$p_1$ , бар	$t_1$ , °C	$q_1'$	$q_1''$
1	14,0	0,90	20	100	100
2	14,5	0,95	30	90	95
3	13,0	0,85	35	110	100
4	14,8	0,95	28	90	90
5	14,9	1,00	35	110	90
6	15,0	1,01	40	ПО	100
7	15,2	0,98	37	120	130
8	15,4	1,00	40	130	120
9	15,8	0,95	33	100	100
10	16,1	1,00	37	120	110
11	16,0	0,95	40	110	120
12	15,4	1,00	30	140	90
13	14,8	0,91	50	140	140
14	12,9	0,98	40	100	100
15	13,5	0,94	45	80	120
16	16,0	0,91	45	120	90
17	16,3	0,86	35	90	120
18	16,5	0,85	30	130	80
19	16,3	0,95	35	80	120
20	16,0	0,90	38	120	90
21	15,0	1,02	42	90	110
22	15,3	1,00	30	120	100
23	14,5	1,03	35	100	130
24	14,6	1,02	40	140	70
25	13,8	0,94	45	80	140
26	16,5	1,00	25	70	130
27	18,5	1,03	27	95	110
28	17,2	1,06	22	90	120
29	15,8	1,00	33	85	115
30	17,1	1,08	35	76	115

**Часть 2 КР: «Рассчитать и изобразить фрагмент  $p-v$ ,  $T-s$  или  $h-s$  диаграммы водяного пара в заданном диапазоне температур от  $t_1$  до  $t_2$ » (в зависимости от варианта задания). Выполняется по теме 10 «Реальные газы и пары. Водяной пар». На построенном фрагменте диаграммы нанести линии постоянной степени сухости ( $x=0,2$ ;  $x=0,4$ ;  $x=0,6$ ;  $x=0,8$ ), а также:**

- три изотермы - при построении фрагмента  $p-v$  диаграммы;
- три изобары – при построении фрагмента  $T-s$  или  $h-s$  диаграммы.

Изотермы и изобары строятся по выбору студента из заданного температурного интервала с целочисленными значениями соответственно температур или давлений.

**Темы задания по части 2 КР:**

1. Построить фрагмент  $p,v$  – диаграммы водяного пара в диапазоне



19. Построить фрагмент  $T,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $315-t_{кр} = 373,946^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

20. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $0-35^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

21. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $35-70^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

22. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $70-105^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

23. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $105-140^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

24. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $140-175^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

25. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $175-210^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

26. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $210-245^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

27. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $245-280^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

28. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $280-315^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

29. Построить фрагмент  $h,s$  – диаграммы водяного пара в диапазоне температур  $315-t_{кр} = 373,46^{\circ}\text{C}$  и нанести на ней линии постоянной степени сухости и изобары.

**Часть 3 КР: «Построить  $H-d$  диаграмму влажного газа на его общее давление  $p$  (МПа) в заданном диапазоне температур от  $t_1$  до  $t_2$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ».** Задание выполняется по теме 11: «Влажный воздух».

Номер варианта задания равен списочному номеру студента в журнале преподавателя. Исходные данные приведены ниже.

#### **Темы задания по части 3 КР:**

1. Построить  $H,d$  – диаграмму влажного воздуха на его общее давление  $0,01$  МПа в диапазоне температур  $5-50^{\circ}\text{C}$ . На диаграмме нанести линии:  $d, H, \phi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

2. Построить  $H,d$  – диаграмму влажного воздуха на его общее давление  $0,02$  МПа в диапазоне температур  $5-70^{\circ}\text{C}$ . На диаграмме нанести линии:



$H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

18. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного азота на его общее давление 0,09 МПа в диапазоне температур 5-190°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

19. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного азота на его общее давление 0,11 МПа в диапазоне температур 5-210°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

20. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного азота на его общее давление 0,13 МПа в диапазоне температур 5-230°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

21. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,01 МПа в диапазоне температур 5-50°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

22. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,02 МПа в диапазоне температур 5-70°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

23. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,03 МПа в диапазоне температур 5-90°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

24. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,04 МПа в диапазоне температур 5-110°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

25. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,05 МПа в диапазоне температур 5-130°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

26. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,06 МПа в диапазоне температур 5-150°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

27. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,07 МПа в диапазоне температур 5-170°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

28. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,09 МПа в диапазоне температур 5-190°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

29. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,11 МПа в диапазоне температур 5-210°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$

30. Построить  $H, d$  – диаграмму влажного углекислого газа на его общее давление 0,13 МПа в диапазоне температур 5-230°C. На диаграмме нанести линии:  $d, H, \varphi, t = \text{const}$ , а также построить зависимость  $p_n = f(d)$ .

### **Контрольные вопросы при защите курсовой работы**

1. Какие Вы знаете параметры состояния термодинамической системы.
2. Что понимают под термодинамическим процессом?

3. Что понимают под термодинамическим циклом?
4. По каким циклам работают тепловые машины и по каким холодильные машины?
5. Какие принимаются допущения при формулировке понятия «идеальный цикл ДВС»?
6. Какие Вы знаете идеальные циклы ДВС?
7. Из каких процессов состоит идеальный цикл ДВС, который Вы рассчитали?
8. Каким типам ДВС соответствуют идеальный цикл ДВС с изохорным подводом теплоты, цикл с изобарным подводом теплоты и цикл со смешанным (изохорно-изобарным) подводом теплоты?
9. Что такое «термический КПД» тепловой машины?
10. От каких параметров зависит КПД идеального цикла ДВС, который Вы рассчитали?
11. Какие Вы знаете диаграммы водяного пара?
12. В чем преимущество  $h-s$  диаграммы водяного пара перед диаграммами  $p-v$   $T-s$ ?
13. Какие линии нанесены на  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$  диаграммах водяного пара?
14. Какие Вы знаете состояния водяного пара?
15. Что такое «степень сухости» водяного пара?
16. Что такое «тройная точка» и каковы ее параметры для воды?
17. Что такое «критическая точка» водяного пара и каковы ее параметры?
18. Дайте определение понятию «влажный воздух».
19. Какие Вы знаете параметры влажного воздуха?
20. Что такое «влагосодержание» влажного воздуха?
21. Что такое «относительная влажность» влажного воздуха?
22. Поясните, какие линии изображены на « $h_d$ -диаграмме влажного воздуха».
23. Что такое парциальное давление водяного пара?
24. Что такое «температура мокрого термометра» и как ее определить по  $h_d$ -диаграмме влажного воздуха?
25. Что такое «точка росы» и как ее определить по  $h_d$ -диаграмме влажного воздуха?

Каждая из решаемых на практических занятиях задач представляет одну из тем дисциплины «Техническая термодинамика».

### **Примеры решаемых задач по разделу «Основные закономерности технической термодинамики»:**

#### **Задача 1.1.**

**Задача 1.1.** Определить газовую постоянную, плотность и парциальные давления для смеси, состоящей из 0,7 массовых долей воздуха и 0,3 массовых долей метана. Давление смеси  $p = 760$  мм рт. ст., температура  $t = 150^\circ\text{C}$ .

**Задача 1.2.** По трубе перемещается смесь паров бензола и толуола в количестве 12500 кг/ч при нормальном физическом давлении, состоящая из 0,4 масс. долей бензола и 0,6 масс. долей толуола. Температура смеси на входе в трубу 110°C, на выходе 80°C. Диаметр трубы 1,2 м. Определить мольный состав смеси, среднюю плотность пара в трубе, средний объемный расход пара и среднюю линейную скорость пара.

**Задача 1.3.** Вычислить среднюю массовую изобарную теплоемкость  $c_p$  воздуха при постоянном давлении в пределах температур 200-800°C, считая зависимость теплоемкости от температуры нелинейной. Известно

$$c_p \Big|_0^{800} = 1,0710 \text{ кДж/(кг К)}, \quad c_p \Big|_0^{200} = 1,0115 \text{ кДж/(кг К)}.$$

**Задача 1.4.** Решить предыдущую задачу, считая зависимость теплоемкости от температуры линейной, если известно, что средняя мольная изобарная теплоемкость выражается уравнением  $\mu c_p = 28,8270 + 0,0027080t$ .

**Задача 1.5.** Через нагревательное устройство проходит 10000 м<sup>3</sup>/ч газовой смеси состава  $r_{\text{CO}_2} = 14,5\%$ ,  $r_{\text{O}_2} = 6,5\%$ ,  $r_{\text{N}_2} = 79,0\%$ . Температура смеси в нагревателе повышается от 200°C до 1200°C при  $p = \text{const}$ . Найти тепловую мощность нагревателя, приняв зависимость теплоемкости от температуры нелинейной, а именно:

$$c'_{p,\text{CO}_2} \Big|_0^{200} = 2,2638 \text{ кДж/(м}^3\text{К)}, \quad c'_{p,\text{CO}_2} \Big|_0^{1200} = 1,7873 \text{ кДж/(м}^3\text{К)};$$

$$c'_{p,\text{N}_2} \Big|_0^{200} = 1,4202 \text{ кДж/(м}^3\text{К)}, \quad c'_{p,\text{N}_2} \Big|_0^{1200} = 1,3038 \text{ кДж/(м}^3\text{К)};$$

$$c'_{p,\text{O}_2} \Big|_0^{200} = 1,5005 \text{ кДж/(м}^3\text{К)}, \quad c'_{p,\text{O}_2} \Big|_0^{1200} = 1,3352 \text{ кДж/(м}^3\text{К)}.$$

**Задача 1.6.** Найти изменение внутренней энергии 1 кг воздуха при изменении его температуры от начального значения  $t_1 = 300^\circ\text{C}$  до конечного значения  $t_2 = 50^\circ\text{C}$ . Зависимость теплоемкости от температуры принять линейной:  $t_v \Big|_0^t = 0,7084 + 0,00009349t$  кДж/(кг К).

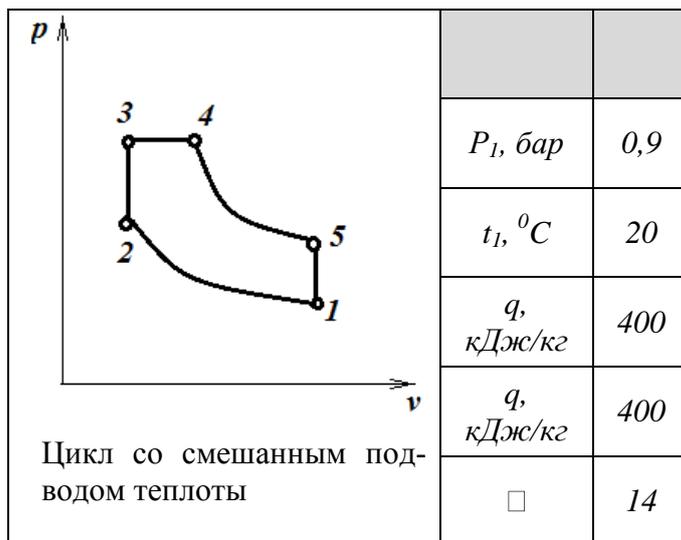
**Задача 1.7.** Сосуд емкостью 90 л содержит воздух при давлении 8 бар и температуре 30°C. Определить количество теплоты, которое надо сообщить воздуху, чтобы повысить его давление при постоянном объеме до 16 бар. Принять зависимость теплоемкости от температуры нелинейной. Справочные зависимости теплоемкости от температуры:

$$c_v \Big|_0^{333} = 0,7351 \text{ кДж/(кг К)}, \quad c_v \Big|_0^{30} = 0,7173 \text{ кДж/(кг К)}.$$

**Задача 1.8.** В цилиндре находится воздух при давлении  $p_1 = 5$  бар и температуре  $t_1 = 400^\circ\text{C}$ . От воздуха отнимается теплота при постоянном давлении таким образом, что в конце процесса устанавливается температура  $t_2 = 0^\circ\text{C}$ . Объем воздуха в начале процесса равен 400 л. Определить: 1) количество отнятой теплоты, 2) изменение внутренней энергии, 3) совершенную воздухом работу. Средняя объемная теплоемкость воздуха при постоянном давлении равна:  $\bar{c}'_p = 1,3289$  кДж/(м<sup>3</sup>К).

**Задача 1.9.** Воздух в количестве  $6 \text{ м}^3$  при давлении  $p_1 = 3 \text{ бар}$  и температуре  $t_1 = 25^\circ\text{C}$  нагревается при постоянном давлении до температуры  $t_2 = 130^\circ\text{C}$ . Определить количество подводимой к воздуху теплоты, считая теплоемкость постоянной. Мольная изобарная теплоемкость равна:  $\mu c_p = 7 \text{ ккал}/(\text{кмоль К})$ .

**Задача 1.10.** Для данного цикла рассчитать основные термодинамические параметры состояния, функции термодинамических процессов, термический КПД. Построить цикл в  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  координатах.



**Примеры решаемых задач по разделу «Термодинамический анализ теплотехнических устройств»:**

**Задача 2.1.**

В установке воздушного отопления внешний воздух при  $t_1 = -15^\circ\text{C}$  нагревается в калорифере при  $p = \text{const}$  до  $60^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты надо затратить для нагревания  $1000 \text{ м}^3$  наружного воздуха? Давление воздуха считать равным 755 мм рт. ст. Теплоемкость воздуха считать постоянной.

**Задача 2.2.**

Воздух в компрессоре сжимается по политропе ( $n = 1,25$ ) от 1 до 8 бар; начальная температура воздуха  $5^\circ\text{C}$ . После сжатия воздух проходит через холодильник, охлаждаемый холодной водой, начальная температура которой  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ , а конечная равна  $t_2 = 18^\circ\text{C}$ . Определить часовой расход охлаждающей воды, если производительность компрессора  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  при нормальных физических условиях, а воздух в холодильнике изобарно охлаждается до  $30^\circ\text{C}$ .

**Задача 2.3.**

В идеально охлаждаемом компрессоре происходит изотермическое сжатие углекислого газа. В компрессор поступает  $700 \text{ м}^3/\text{ч}$  газа (приведенного к нормальным условиям) при  $p_1 = 0,095 \text{ МПа}$  и  $t_1 = 47^\circ\text{C}$ . Давление за компрессором  $p_2 = 0,8 \text{ МПа}$ . Найти теоретическую мощность приводного двига-

теля  $N_0$  (кВт) и теоретический расход  $M_e$  охлаждающей компрессор воды (в кг/ч), если она нагревается в системе охлаждения на  $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ .

#### **Задача 2.4.**

Компрессор всасывает  $100\text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха при давлении  $p_1 = 1\text{ бар}$  и температуре  $t_1 = 27^\circ\text{C}$ . Конечное давление воздуха составляет 8 бар. Определить теоретическую мощность двигателя для привода компрессора. Расчет произвести для изотермического, адиабатного и политропного сжатия. Показатель политропы принять равным 1,2.

#### **Задача 2.5.**

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина. Параметры состояния пара перед турбиной:  $p_1 = 20\text{ бар}$ ,  $t_1 = 300^\circ\text{C}$ . Давление в конденсаторе  $p_2 = 0,04\text{ бар}$ . Определить термический КПД установки.

**Задача 2.6.** Из парового котла поступает в пароперегреватель  $2700\text{ кг/ч}$  пара при давлении  $p = 16\text{ бар}$  и степени сухости  $x = 0,98$ . Температура пара после пароперегревателя  $400^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, которое получает пар в пароперегревателе, и отношение диаметров паропроводов до и после пароперегревателя, считая скорости пара в них одинаковыми.

**Задача 2.7.** В паросиловой установке, работающей при параметрах пара  $p_1 = 110\text{ бар}$ ,  $t_1 = 500^\circ\text{C}$ ,  $p_2 = 0,004\text{ бар}$ , введен вторичный перегрев пара при до начальной температуры  $p_1 = 110\text{ бар}$ . Определить: 1) степень сухости пара после турбины в базовом варианте и в схеме со вторичным перегревом пара; 2) термический КПД цикла в базовом варианте и в цикле со вторичным перегревом пара.

**Задача 2.8.** Смешиваются два потока воздуха. Один из них имеет параметры: температура  $t_1 = -10^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi_1 = 100\%$ , другой – параметры  $t_2 = 45^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi_2 = 80\%$ . Пользуясь  $H, d$ - диаграммой влажного воздуха, определить все его параметры: температуру  $t_{\text{см}}$  ( $^\circ\text{C}$ ), влагосодержание  $d_{\text{см}}$  (кг/кг сух. в-ха), энтальпию  $H$  (кДж/кг сух в-ха), парциальное давление пара  $p_{\text{п}}$  (кПа), температуру мокрого термометра  $t_{\text{м.т}}$  ( $^\circ\text{C}$ ), температуру точки росы  $t_{\text{т.р}}$  ( $^\circ\text{C}$ ).

## Текущее тестирование

Текущее тестирование необходимо для оценки текущей успеваемости и усвояемости изучаемого студентами материала. Рабочая программа предусматривает проведение двух тестирований: первое тестирование выполняется по разделу 1 «Основные закономерности технической термодинамики», второе тестирование - по разделу 2 «Термодинамический анализ теплотехнических устройств». Первое тестирование проводится письменно на 12-й неделе учебного семестра, второе тестирование - на 15-й неделе учебного семестра.

### Перечень вопросов по первому тестированию

РАЗДЕЛ 1. «Основные закономерности технической термодинамики»		
№ п/п	Тема	Вопросы
1.	<b>Тема 3.</b> Теплоемкость	1. Дайте определение теплоемкости; 2. Какие существуют разновидности теплоемкости в зависимости от того, в каких единицах измеряется количество вещества, к которому подводится теплота? 3. Что такое «истинная» и «средняя» теплоемкость? С чем связаны эти определения? 4. Что означают индексы « $p$ » и « $v$ » в обозначениях теплоемкости « $c_p$ » и « $c_v$ »? 5. Как называется отношение теплоемкостей $c_p/c_v$ и какое оно имеет численное значение?
2.	<b>Тема 4.</b> Первый закон термодинамики для закрытых систем	1. Что такое закрытая система? 2. Сформулируйте первый закон термодинамики для закрытых систем. 3. Как вычисляется работа расширения газа? 4. Как вычисляется изменение внутренней энергии газа? 5. Как вычисляется изменение энтальпии газа?
3.	<b>Тема 6.</b> Исследование термодинамических процессов	1. Какие термодинамические процессы Вы знаете? 2. Дайте определение адиабатному процессу, запишите его характеристическое уравнение. 3. Дайте определение политропному процессу, запишите его характеристическое уравнение. 4. В каких пределах может изменяться показатель политропы? 5. Запишите уравнение для теплоемкости газа в политропном процессе.
4.	<b>Тема 9.</b> Идеальные циклы двигателей внутреннего	1. Какие допущения принимаются при формулировке понятия «идеальный цикл ДВС»? 2. Какие идеальные циклы ДВС Вы знаете и

	сгорания (ДВС)	каким типам двигателей каждый из них соответствует? 3. Что такое тепловая машина и как вычисляется ее термический КПД? 4. Из каких процессов состоит идеальный цикл ДВС с изохорным подводом теплоты? 5. Из каких процессов состоит идеальный цикл ДВС со смешанным подводом теплоты?
5.	<b>Тема 10.</b> Реальные газы и пары. Водяной пар	1. Чем реальный газ отличается от идеального? 2. При каких условиях водяной пар следует считать реальным газом? 3. Изобразите $p, v$ -, $T, s$ - и $h, s$ -диаграммы водяного пара и объясните их. 4. Что такое «тройная точка», каковы параметры тройной точки для воды? 5. Что такое «критическая точка», каковы значения температуры и давления водяного пара в тройной точке?
6.	<b>Тема 11.</b> Влажный воздух	1. Дайте определение понятию «влажный воздух». 2. Что такое влагосодержание воздуха, его абсолютная влажность, относительная влажность, парциальное давление пара в воздухе? 3. Напишите формулу взаимосвязи между влагосодержанием воздуха и его относительной влажностью. 4. Напишите формулы для удельной теплоемкости и энтальпии влажного воздуха. 5. Изобразите $H, d$ - диаграмму влажного воздуха и объясните ее.

### Перечень вопросов по второму тестированию

Раздел 2. «Термодинамический анализ теплотехнических устройств»		
№ п/п	Тема	Вопросы
7.	<b>Тема 13.</b> Двигатели внутреннего сгорания	1. Что такое «ход поршня»? 2. Что означает «2-х тактный двигатель», «4-х тактный двигатель»? 3. Что такое «степень сжатия ДВС»? Как она влияет на термический КПД двигателя? 4. Что такое «индикаторный КПД ДВС», «механический КПД ДВС», «эффективный КПД ДВС»? Какие потери энергии они

		<p>учитывают?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Что означает «двигатель внешнего сгорания» и «двигатель внутреннего сгорания»? Каковы их термические КПД?</li> <li>6. Что означает «двигатель с внешним смесеобразованием» и «двигатель с внутренним смесеобразованием»?</li> <li>7. Как влияет степень сжатия на КПД двигателя?</li> <li>8. Какое ограничение по степени сжатия имеет двигатель с внутренним смесеобразованием и чем оно вызвано?</li> </ol>
8.	<b>Тема 14.</b> Термодинамический анализ работы компрессора	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое компрессор?</li> <li>2. Какие Вы знаете типы компрессоров?</li> <li>3. Что такое «изотермический компрессор»? По какой формуле вычисляется работа, совершаемая изотерическим компрессором?</li> <li>4. Что такое «адиабатный компрессор»? По какой формуле вычисляется работа, совершаемая адиабатным компрессором?</li> <li>5. Что такое «политропный компрессор»? По какой формуле вычисляется работа, совершаемая политропным компрессором?</li> <li>6. Какой из указанных выше компрессоров энергетически наиболее выгоден?</li> <li>7. Как рассчитывается мощность, потребляемая компрессором?</li> <li>8. Что такое «мертвое пространство» и как оно влияет на работу компрессора?</li> <li>9. Как влияет давление сжатого газа на подачу компрессора?</li> </ol>
9.	<b>Тема 15.</b> Многоступенчатый компрессор	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Чем вызвана необходимость создания многоступенчатых компрессоров?</li> <li>2. Каковы преимущества многоступенчатого компрессора перед одноступенчатым?</li> <li>3. Каков недостаток многоступенчатого компрессора по сравнению с одноступенчатым?</li> <li>4. Покажите в <math>p, v</math> – координатах экономичную работу в многоступенчатом компрессоре по сравнению с одноступенчатым.</li> <li>5. Покажите в <math>T, s</math>-диаграмме на примере 3-х ступенчатого компрессора термодинамические процессы, иллюстрирующие его работу.</li> </ol>

## Перечень вопросов к экзамену по дисциплине

1. Основные понятия и определения технической термодинамики. Параметры состояния.
2. Понятие об идеальном газе. Уравнение состояния идеального газа. Уравнение Клапейрона-Менделеева и его анализ.
3. Газовые смеси. Способы задания состава газовой смеси. Кажущаяся молярная масса и газовая постоянная газовой смеси. Парциальное давление и парциальный объем. Закон Дальтона.
4. Понятие теплоемкости. Теплоемкость газов. Массовая, объемная и молярная теплоемкость; взаимосвязь между ними.
5. Понятие внутренней энергии и энтальпии. Формулы для вычисления изменения внутренней энергии и энтальпии идеального газа.
6. Теплоемкость газовой смеси, заданной массовыми, объемными или молярными долями.
7. Формулировка и математическое выражение 1-го закона термодинамики для закрытых систем.
8. Математическое выражение 1-го закона термодинамики для открытых систем и его конкретизация для теплового двигателя, компрессора, сопел и диффузоров.
9. Исследование изохорного термодинамического процесса.
10. Исследование изобарного термодинамического процесса.
11. Исследование изотермического процесса.
12. Исследование адиабатного процесса.
13. Политропный термодинамический процесс. Теплоемкость газа в политропном процессе.
14. Анализ политропных процессов в зависимости от знаков  $q$  и  $\Delta U$ .
15. Прямой и обратный термодинамические циклы. Термический КПД. Холодильный коэффициент.
16. Физическая сущность 2-го закона термодинамики на примере тепловых и холодильных машин.
17. Понятие энтропии. Формулы для вычисления энтропии и изменения энтропии.
18. Приведенная теплота.
19. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах, в изолированной системе.
20. Прямой и обратный обратимые циклы Карно.
21. Идеальный цикл ДВС с подводом теплоты при  $V = \text{const}$ .
22. Идеальный цикл ДВС с подводом теплоты при  $P = \text{const}$ .
23. Идеальный цикл ДВС со смешанным подводом теплоты.
24. Графоаналитическое сравнение идеальных циклов ДВС.
25. Термодинамический анализ работы компрессора. Работа компрессора при изотермическом, адиабатном и политропном сжатии.
26. Многоступенчатое сжатие. Мертвое пространство и его влияние на работу компрессора.
27. Реальные газы и пары. Уравнения состояния реальных газов.

28. Водяной пар и его состояния. Тройная точка.  $P, t$  – диаграмма.
29. Формулы для вычисления параметров состояния воды, влажного, насыщенного и перегретого водяного пара.
30.  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$  диаграммы водяного пара.
31. Паросиловая установка. Термодинамический анализ работы ПСУ, работающей по циклу Карно и циклам Ренкина на насыщенном и перегретом паре.
32. Влажный воздух: основные понятия и определения. Взаимосвязь между относительной влажностью и влагосодержанием влажного воздуха.
33.  $H, d$  - диаграмма влажного воздуха. Температура точки росы и температура мокрого термометра. Изображение в  $H, d$  - диаграмме процессов нагрева, охлаждения воздуха, смешения двух потоков воздуха.
34. Истечение газов и паров через суживающееся сопло.
35. Основные закономерности течения газа в соплах и диффузорах.
36. Дросселирование газов и паров. Дифференциальный и интегральный дроссельный эффект. Температура инверсии.
37. Общая характеристика, принцип действия и классификация двигателей внутреннего сгорания.
38. Газопаровые циклы энергетических установок.
39. Принципиальная схема и термодинамический анализ работы газокompрессионной холодильной машины.
40. Холодильные агенты, применяемые в парокompрессионных холодильных машинах и их анализ.
41. Принципиальная схема парокompрессионной холодильной машины и термодинамический анализ ее работы.
42. Принципиальная схема абсорбционной холодильной машины и термодинамический анализ ее работы.

## **6.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания**

### **Критерии оценки выполнения курсовой работы (КР)**

Курсовую работу, состоящую из трех частей, студенты выполняют поэтапно – после прочтения лектором соответствующих разделов дисциплины: часть 1 – после прочтения темы 9 «Идеальные циклы ДВС», часть 2 – после прочтения темы 10 «Водяной пар» и часть 3 – после прочтения темы 11 «Влажный воздух». Выполненная курсовая работа после подписи ее исполнителем (студентом) и руководителем проекта защищается студентом перед кафедральной комиссией, состоящей из трех преподавателей, один из которых является руководителем курсовой работы. При защите курсовой работы студент делает краткое (5-7 мин.) сообщение по ее теме и отвечает на предлагаемые членами комиссии вопросы. При выставлении оценки за курсовую работу члены комиссии оценивают качество выполнения работы, качество сделанного доклада, ответы на поставленные вопросы.

Оценка качества курсовой работы осуществляется по четырехбалльной системе:

«**отлично**», если расчетно-пояснительная записка выполнена качественно и не содержит ошибок, студент сделал содержательный, логически стройный доклад, дал вывод по излагаемому материалу, правильно ответил на поставленные вопросы, знает авторов - исследователей (ученых) по данной проблеме;

оценка «**хорошо**», если в расчетно-пояснительной записке имеются отдельные небольшие неточности, если студент представил грамотное изложение содержания работы по существу, дал вывод по изложенному материалу, в целом правильно ответил на поставленные вопросы;

оценка «**удовлетворительно**», если расчетно-пояснительная записка, в целом, удовлетворяет предъявляемым требованиям, но содержит некоторые неточности или погрешности в оформлении, студент имеет общие знания основного материала по теме курсовой работы, но без усвоения некоторых существенных положений, формулирует основные понятия с некоторой неточностью, затрудняется в ответах на поставленные вопросы;

оценка «**неудовлетворительно**», если курсовая работа не выполнена в полном объеме или содержит существенные ошибки, студент не смог сделать доклад, поясняющий выполненную работу, допустил существенные ошибки в процессе ее изложения, не умеет выделить главное и сделать вывод, приводит ошибочные определения.

Текущее тестирование (письменное) производится на 12 и 15 неделях учебного семестра.

Первый тест состоит из 6 заданий и содержит 30 вопросов. Каждый студент получает по одному вопросу из каждого задания, т.е. 6 вопросов.

Критерии оценивания:

- правильные ответы на 1 и менее заданий – 2 балла (неудовлетворительно),

- правильные ответы на 2 - 3 задания – 3 балла (удовлетворительно),

- правильные ответы на 4 - 5 заданий – 4 балла (хорошо),

- правильные ответы на 6 заданий – 5 баллов (отлично),

Основаниями для снижения оценки на 1 балл являются: отсутствие обоснования выбранного ответа, неполный ответ; небрежное выполнение, ошибки в обозначениях и т.п.

Второй тест состоит из 3 заданий и содержит 22 вопроса. Каждый студент получает по два вопроса из каждого задания, т.е. 6 вопросов.

Критерии оценивания:

- правильные ответы на 1 и менее вопросов – 2 балла (неудовлетворительно),

- правильные ответы на 4 вопроса – 3 балла (удовлетворительно),

- правильные ответы на 5 вопросов – 4 балла (хорошо),

- правильные ответы на 6 вопросов – 5 баллов (отлично).



### Критерии оценивания промежуточного контроля:

К экзамену допускается студент, полностью выполнивший все виды учебной и самостоятельной работы и сдавший отчетные материалы.

Экзамен проводится в устной форме в виде доклада студента по каждому экзаменационному вопросу с представлением на листе ответа: уравнений, формул, расчетных схем, графиков и т.п. и ответов (если потребуется) на дополнительные вопросы преподавателя.

Качество освоения дисциплины, уровень сформированности заявленных универсальных и общепрофессиональных компетенций, знания и умения студента оцениваются в соответствии с традиционной технологией.

Таблица 5

### Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, который излагает содержание вопроса логически верно, аргументировано, умеет делать выводы; правильно формулирует основные законы технической термодинамики; знает и применяет основные формулы и расчетные зависимости; владеет методами расчета термодинамических процессов; знает устройство, принцип действия и основные характеристики работы тепловых и холодильных машин, тепловых насосов. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – высокий.</b>
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, который излагает содержание вопроса логически верно и по существу, умеет делать выводы и приводит примеры из практики, но допускает некоторые неточности и незначительные ошибки или опiski, что в целом не вызывает сомнений в освоении дисциплины. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – хороший (средний).</b>
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, который не в полной мере владеет навыками логично и аргументировано излагать содержание материала, имеет общие знания основного содержания дисциплины без освоения некоторых существенных положений, допускает неточности и затрудняется в теоретических выводах, однако умеет применять знания и умения в практических работах, владеет навыками работы со справочной и учебной литературой, умеет пользоваться нормативными документами. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – достаточный.</b>
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, который не освоил значительную часть содержания дисциплины; допускает существенные ошибки в изложении материала; не в полной мере владеет методами выполнения гидравлических расчетов; не умеет выделить главное и сделать выводы. <b>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, не сформированы.</b>

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Основная литература**

1. Рудобашта С.П. Теплотехника [текст]. – М.: Издательство «Перо», 2015. 665 с.
2. Цирельман Н.М. Техническая термодинамика. 2-е изд., доп. С-Пб: Лань. 2018. - 352 с. [[https:// e.lanbook. com / book /107965](https://e.lanbook.com/book/107965)].

### **7.2 Дополнительная литература**

1. Кузнецов А.В., Рудобашта С.П., Симоненко А.В. [текст] Основы теплотехники, топливо и смазочные материалы – М.: Колос, 2001. – 246 с.
2. Андрианова Т.Н. Сборник задач по технической термодинамике [текст]. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 356 с.
3. Александров А.А., Григорьев, Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. Справочник. [текст] М.: МЭИ. 1999. - 164 с.
4. Круглов, Г.А. Теплотехника : учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2012. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-1017-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/3900>
5. Теплотехника. Практический курс: учебное пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова, М.В. Андреева. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-2575-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/96253>
6. Логинов, В.С. Практикум по основам теплотехники : учебное пособие / В.С. Логинов, В.Е. Юхнов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 128 с. — ISBN 978-5-8114-3377-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/112679>
7. Рудобашта С. П. Теплотехника. Задания для контрольной работы: практикум / С. П. Рудобашта, Е. Л. Бабичева, Ю. А. Канатников; Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). — Электрон. текстовые дан. — Москва: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2018 — 114 с.

### **7.3 Нормативные правовые акты**

1. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ".

### **7.4 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям**

1. Методические указания к расчёту идеальных циклов ДВС (Бабичева Е.Л., Рудобашта С.П. [текст].

2. Методические рекомендации к выполнению части 1 КР (составитель С.П. Рудобашта) [текст].

3. Методические рекомендации к выполнению части 2 КР (составитель С.П. Рудобашта) [текст].

4. Методические рекомендации к выполнению части 3 КР (составитель С.П. Рудобашта) [текст].

#### **Научно-технические журналы**

1. Промышленная теплотехника. Электронный ресурс  
<http://kiev.goldenpages.ua/details/449147/286/> – открытый доступ.

2. Теплоэнергетика. Электронный ресурс – открытый доступ  
<http://www.twirpx.com/files/tek/periodic/teploenergetika/>

3. Промышленная энергетика. Электронный ресурс:  
<http://www.promen.energy-journals.ru/> – открытый доступ .

4. Новости теплоснабжения. Электронный ресурс  
<http://www.ntsн.ru/?yclid=3116444075139009561>– открытый доступ.

#### **8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Интернет-приложение к справочнику: Александров А. А., Орлов К. А. и Очков В. Ф. «Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики». - М.: Издательство МЭИ. 2009. [электронный ресурс]  
<http://twt.Mpei> – открытый доступ.

2. Электронная документация ИС "СтройКонсультант" – электронный сборник нормативных документов по строительству, действующих на территории Российской Федерации [электронный ресурс] – открытый доступ  
<http://www.stroykonsultant.com> – открытый доступ.

3. hs-диаграмма воды и водяного пара: <https://testet.ru/na-svobodnuyu-temu/diagramma-hs-dlya-vody-i-vodyanogo-para-diagramma-h-s-dlya-vody-i-vodyanogo.html> - открытый доступ.

#### **9. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

1. Справочные системы "ТЕХЭКСПЕРТ" – электронная справочная системы нормативно-технической информации [электронный ресурс]  
<http://www.tehekspert.ru> – открытый доступ.

2. База данных книг по теплотехнике:  
<http://www.biblion.ru/catalog/11471/?yclid=3108496873144979672> [электронный ресурс] – открытый доступ.

Таблица 9

## Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование раздела учебной дисциплины	Наименование программы	Тип программы	Автор	Год разработки
1.	Разделы 1-2	Microsoft Office 365	Офисный пакет	Microsoft	2021

## 10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Таблица 10

### Сведения об обеспеченности специализированными аудиториями, кабинетами, лабораториями

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы**
1	2
Лаборатория по теоретическим основам теплотехники (технической термодинамике и тепломассообмену) № 6 в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «техническая термодинамика».	Лаборатория оснащена: 1) плакатами по технической термодинамике, 2) установками для исследования термодинамических параметров и процессов, 3) оборудование для компьютерной презентации слайдов (экран и слайд-проектор),
Лаборатория № 5 в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «техническая термодинамика».	Лаборатория оснащена: 1) стендами для показа приборов для измерения теплотехнических величин, 2) двухступенчатым компрессором, 3) вентилятором низкого давления, 4) вентилятором высокого давления, 5) бензиновой электростанцией.
Лаборатория в общем зале в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «техническая термодинамика».	Лаборатория оснащена: 1) паровым котлом Д-900, 2) теплогенератором ТГ-1,5, 3) прибором учета тепловой энергии.
Кабинет № 15 для самостоятельных занятий по теплотехническим дисциплинам, в том числе по технической термодинамике, в корпусе по адресу: ул. Тимирязевская, д.51. Корпус полностью занимает кафедра «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий», читающая дисциплину «техническая термодинамика»..	Кабинет имеет аудиторные столы и стулья.
Центральная научная библиотека имени Н.И. Железнова - читальные залы библиотеки	Библиотека имеет научно-техническую литературу по технической термодинамике

Для самостоятельной работы студентов также предусмотрены комнаты самоподготовки студентов в общежитиях.

## **Плакаты, имеющиеся на кафедре по дисциплине «Техническая термодинамика»:**

1. Плакат «Единицы измерения теплотехнических величин».
2. Плакат с изображением  $h,s$  – диаграммы водяного пара.
3. Плакат с изображением  $H,d$ -диаграммы влажного воздуха.
4. Плакат, изображающий работу компрессора с изотермическим, адиабатным и политропным сжатием.
5. Плакат с изображением идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания и расчётными зависимостями.
6. Плакат с изображением схемы паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина на перегретом паре, и изображением циклов в  $p,v$ -,  $T,s$  и  $h,s$  – диаграммах.

### **ПЕРЕЧЕНЬ ДИДАКТИЧЕСКИХ РАЗДАТОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1.  $h,s$  – диаграммы водяного пара для рабочих расчётов.
2. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара (Александров А.А., Григорьев, Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. Справочник. [текст] М.: МЭИ. 1999. - 164 с.).
3.  $H,d$ -диаграммы влажного воздуха для рабочих расчётов.

### **Специализированное оборудование**

На кафедре имеется следующий вид специализированного оборудования по дисциплине «Техническая термодинамика»:

4. Приборы разного типа для определения параметров рабочих тел: измерители температуры, давления, влажности воздуха, состава газовых смесей;
2. Стенд для определения теплоёмкости воздуха при постоянном давлении;
3. Стенд для определения показателя адиабаты воздуха;
4. Стенд для исследования процессов во влажном воздухе;
5. Промышленный двухступенчатый компрессор;
6. Вентилятор низкого давления;
7. Вентилятор высокого давления;
8. Теплогенератор ТГ-1,5;
9. Паровой котел Д-900.

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

При изучении курса дисциплины особое внимание следует уделить следующим вопросам: теплоемкость, первый и второй законы термодинамики, термодинамические процессы и циклы, водяной пар, влажный воздух, двигатели внутреннего сгорания, компрессоры, паросиловые и газопаровые установки, холодильные установки.

Студентам необходимо:

- внимательно ознакомиться с содержанием тематического плана дисциплины, который составляется преподавателем, ответственным за дисциплину (лектором) и вывешивается на кафедре, приводимом в нём списке рекомендуемой литературы, приобрести в библиотеке университета требующиеся учебники и учебные пособия;

- получить консультацию у преподавателей кафедры, ведущих дисциплину «Техническая термодинамика», по всем возникающим учебно-методическим вопросам;

- используя методические пособия, строго по темам дисциплины приступить к изучению рекомендуемой литературы;

- прорабатывать каждую тему сразу после её прочтения на лекции;

- курсовую работу выполнять сразу после прочтения лектором тем «Идеальные циклы двигателей внутреннего сгорания», «Водяной пар», «Влажный воздух» и получения задания на ее выполнение (выполнять строго свой вариант задания);

- при подготовке к экзамену руководствоваться вопросами, приведенными в разделе 6.1 рабочей программы.

### **Виды и формы отработки пропущенных занятий**

Посещение лекционных и практических занятий является обязательным. Студент, пропустивший занятие, обязан самостоятельно проработать тему и представить преподавателю, проводящему данный вид занятия (лекция или практическое занятие), конспект занятия.

## **12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **12.1. Методические рекомендации для чтения лекций**

Лекции являются одним из важнейших видов учебных занятий. Они должны дать систематизированные основы научных знаний по дисциплине, концентрировать внимание студентов на наиболее сложных и узловых вопросах. Объем читаемых лекций определяется графиком изучения дисциплины. Каждая лекция должна делиться на три части: введение, основная часть (учебные вопросы) и заключение.

Лекции должны иметь логическую связь с ранее изученным материалом и быть ориентированы на последующее применение излагаемого материала. Для этой цели во введении к лекции преподаватель формулирует тему, учебные вопросы, отражающие содержание лекции и четко определяет цель данной лекции. Начиная изложение рассматриваемого материала, преподаватель устанавливает логическую связь данной лекции с предыдущим материалом и изучаемыми ранее дисциплинами. Введение должно занимать не более 10 минут, но должно полностью подготовить студента к восприятию излагаемого далее основного содержания.

Планируемый к изложению в лекциях материал должен отражать только основное содержание изучаемого вопроса, сочетаясь с примерами и, при

необходимости, иллюстрируется слайд-презентацией, плакатами и другими техническими средствами обучения. При этом не следует, по возможности, включать в лекцию громоздкие выводы, пояснения и тому подобный материал, однако в таких случаях необходимо обязательно указывать разделы рекомендуемой литературы, где можно получить убедительные ответы на возникшие вопросы. Кроме этого, в лекции обращается внимание студентов на те вопросы изучаемого материала, которые он должен изучить самостоятельно по указанной в методических указаниях по данной дисциплине литературе.

В заключительной части лекции преподаватель должен подвести итог и сформулировать общие выводы, вытекающие из содержания основной части лекции, и еще раз обратить внимание на тот объем материала, который подлежит самостоятельному изучению.

## **12.2. Методические указания для проведения практических занятий**

Практические занятия проводятся с целью закрепления теоретического материала, изложенного на лекциях, а также для развития у студентов навыков практического решения единых учебно-инженерных задач.

Практические занятия рекомендуется делить на три части: вводную, основную и заключительную.

Во вводной части преподаватель должен назвать тему занятия, определить ее цель и сформулировать вопросы, отражающие содержание занятия. Преподаватель должен указать взаимосвязь практического занятия с предыдущими занятиями по данной дисциплине, при необходимости пояснить инженерную направленность темы и ее связь с другими дисциплинами специальности.

Основная часть практического занятия должна быть посвящена закреплению теоретических положений, изложенных в лекциях, путем решения практических задач. Преподаватель должен разобрать со студентами методику решения типовых примеров, указав при этом, какие материалы теоретического курса используются при этом.

Часть времени преподаватель должен отвести для объяснения студентам содержания, этапов решения заданий при выполнении курсовой работы.

В заключительной части практического занятия преподаватель должен сформулировать краткие выводы по содержанию вопросов, рассмотренных на занятии, обратив внимание студентов на тот объем материала, который рекомендуется для самостоятельного изучения. Подробно остановиться на литературе, рекомендованной для самостоятельной работы.

**Программу разработал:**

Рудобашта С.П., д.т.н., профессор

---

## РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу дисциплины «Б1.О.12 Техническая термодинамика»  
ОПОП ВО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
направленность «Энергообеспечение предприятий»  
(квалификация выпускника – бакалавр)

Андреевым Сергеем Андреевичем, доцентом кафедры «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф.Бородина», ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», кандидатом технических наук проведена (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Техническая термодинамика» ОПОП ВО по направлению 13.03.01 – «Теплоэнергетика и теплотехника», направленность «Энергообеспечение предприятий» (уровень обучения – бакалавр) разработанной в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», на кафедре «Теплотехника, гидравлика и энергообеспечение предприятий» (разработчик – Рудобашта Станислав Павлович, профессор кафедры теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»).

Рассмотрев представленные на рецензию материалы, рецензент пришел к следующим выводам:

1. Предъявленная рабочая программа дисциплины «Техническая термодинамика» (далее по тексту Программа) соответствует требованиям ФГОС ВО по направлению 13.03.01 – «Энергообеспечение предприятий». Программа содержит все основные разделы, соответствует требованиям к нормативно-методическим документам.

2. Представленная в Программе **актуальность** учебной дисциплины в рамках реализации ОПОП ВО не подлежит сомнению – дисциплина относится к обязательной части учебного цикла – Б1.

3. Представленные в Программе **цели** дисциплины соответствуют требованиям ФГОС ВО направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

4. В соответствии с Программой за дисциплиной «Техническая термодинамика» закреплено **две компетенции (5 индикаторов достижения компетенций)**. Дисциплина «Техническая термодинамика» и представленная Программа способна реализовать их в объявленных требованиях. Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

5. Общая трудоёмкость дисциплины «Техническая термодинамика» составляет 6 зачётных единицы (216 часов).

6. Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросам исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Техническая термодинамика» взаимосвязана с другими дисциплинами ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и возможность дублирования в содержании отсутствует.

7. Представленная Программа предполагает использование современных образовательных технологий, используемые при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

8. Программа дисциплины «Техническая термодинамика» предполагает 36 занятий в интерактивной форме.

9. Виды, содержание и трудоёмкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

10. Представленные и описанные в Программе формы *текущей* оценки знаний (опрос, как в форме обсуждения отдельных вопросов, так и выступления и участие в дискус

куссиях, участие в тестировании), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Форма промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме экзамена и защиты КР, что соответствует статусу дисциплины, как дисциплины обязательной части учебного цикла – Б1 ФГОС ВО направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

11. Формы оценки знаний, представленные в Программе, соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – 2 источника (базовых учебника), дополнительной литературой – 7 наименований, периодическими изданиями – 4 источника со ссылкой на электронные ресурсы, Интернет-ресурсы – 2 источника и соответствует требованиям ФГОС ВО направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «**Техническая термодинамика**» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

14. Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «**Техническая термодинамика**».

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенной рецензии можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «**Техническая термодинамика**» ОПОП ВО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника, направленность «Энергообеспечение предприятий» (квалификация выпускника – бакалавр), разработанная Рудобаштой Станиславом Павловичем, профессором кафедры теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», соответствует требованиям ФГОС ВО, современным требованиям экономики, рынка труда и позволит при её реализации успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент: Андреев Сергей Андреевич, доцент кафедры «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф.Бородин», ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», кандидат технических наук

(подпись)

« 21 » 05 2021 г.