

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММ

УТВЕРЖДАЮ /Н.П. Сютлов/  
(Ф.И.О. декана (директора института))

02.02.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Б.1.1.17 Техническая термодинамика

*(код и наименование дисциплины по учебному плану)*

Направление подготовки  
(специальность)

13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Квалификация выпускника

Бакалавр

*(бакалавр/магистр/специалист)*

Направленность

Промышленная теплоэнергетика

Курс 2, 3

Семестр 3, 4, 5

**Распределение учебного времени**

Трудоемкость по учебному плану	288 / 8	часов/зачетных единиц
Лекции	4	часов
Лабораторные работы	4	часов
Практические занятия	6	часов
Иная контактная работа	-	часов
Всего контактной работы (без учета экз.)	14	часов
Контактная работа по экзамену	6	часов
Курсовой проект (работа)	4	семестр
Самостоятельная работа обучающихся (без учета экз.)	238	часов
Самостоятельная работа по подготовке к экзамену	30	часов
Экзамен	5	семестр
Зачет	-	семестр
БРК, ДЗ	4	семестр

(год)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Программу составили:

доцент с ученой степенью кандидата наук	ЭП	СОГЛАСОВАНО	П.Н. Анисимов
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры, за которой закреплена дисциплина  
Кафедра "Энергообеспечение предприятий"

		(наименование кафедры)	
29.12.2021	протокол №	4	
(дата)			
Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	А.А. Медяков	
		(И.О. Фамилия)	

Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом (институтом), выпускающей(ими)  
кафедрой(ами).  
СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	А.А. Медяков
		(И.О. Фамилия)

Председатель методической комиссии факультета (института), в который входит  
выпускающая кафедра

СОГЛАСОВАНО	А.А. Медяков
	(И.О. Фамилия)

Эксперт(ы): Фадеев Александр Алерьевич, технический директор-главный инженер  
Йошкар-Олинской ТЭЦ-2 Филиала Марий Эл и Чувашия ПАО "Т Плюс"  
Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 07.02.2022 г.  
Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /Т.А. Смирнова/

## Раздел 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является достижение планируемых результатов обучения, соответствующих установленным в ОПОП индикаторам достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
1. ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-3.3 Использует знание теплофизических свойств рабочих тел при расчетах теплотехнических установок и систем	<b>знания:</b> Знает какие теплофизические свойства рабочих тел необходимы при расчетах теплотехнических установок и систем <b>умения:</b> Умеет определять теплофизические свойства рабочих тел, необходимые при расчетах теплотехнических установок и систем <b>навыки:</b> Имеет навыки определения теплофизических свойств рабочих тел, необходимых при расчетах теплотехнических установок и систем
	ОПК-3.4 Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и термодинамических соотношений	<b>знания:</b> Знает основные законы термодинамики и термодинамические соотношения <b>умения:</b> Умеет применять законы термодинамики и термодинамические соотношения <b>навыки:</b> Имеет навыки самостоятельного термодинамического анализа
	ОПК-3.5 Применяет знания основ термодинамики для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей	<b>знания:</b> Знает основы термодинамики, основные термодинамические процессы, циклы и их показатели <b>умения:</b> Умеет определять термодинамические параметры процессов и циклов <b>навыки:</b> Имеет навыки самостоятельного расчета термодинамических процессов, циклов и их показателей

## Раздел 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части ОПОП.

Дисциплина является обязательной

Для продолжения формирования заявленных компетенций необходимы знания предшествующих дисциплин: Гидрогазодинамика (ОПК-3); практик: Учебная практика. Ознакомительная практика (ОПК-3)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих государственной итоговой аттестации в форме: Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы (ОПК-3)

## Раздел 3. ОПИСАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для формирования заявленных компетенций используются методологические технологии, реализующие деятельностный, личностно-ориентированный, практико-ориентированный подходы.

Основными стратегическими технологиями являются: лекционные занятия, практические и лабораторные занятия, процедуры самообучения  
 На достижение конкретных целей обучения направлены применяемые тактические технологии: задания, информационные, классическая лекция

#### Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 3 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>Введение в техническую термодинамику. Идеальные газы. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики.</b>	<b>72</b>	ОПК-3
Лекция. Введение в техническую термодинамику. Параметры состояния, уравнение состояния, чистое вещество, термодинамическая поверхность, диаграмма состояния, термодинамический процесс. Первый закон термодинамики. Первый закон термодинамики для потока. Идеальные газы. Законы идеальных газов. Чистое вещество. Смеси.	2	
Практическое занятие. Расчет процессов идеальных газов.	2	
Лабораторная работа. Изучение средств измерения параметров состояния вещества, изучение термопары. Выполнение измерений температуры и давления. Экспериментальное определение газовой постоянной воздуха.	2	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Сделать конспект и выполнить практические задания по темам: Термодинамика и её метод. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Законы идеального газа. Термодинамические процессы идеальных газов. Смеси идеальных газов. Теплоемкость, энтальпия, внутренняя энергия идеальных газов и внешняя работа. Первый закон термодинамики для стационарного вещества. Первый закон термодинамики для потока. Второй закон термодинамики. Цикл Карно. Дифференциальные уравнения термодинамики.	66	
Иная контактная работа:	0	

##### 4 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>Термодинамические процессы. Теплосиловые паровые циклы.</b>	<b>72</b>	ОПК-3
Лекция. Термодинамические циклы. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Теорема Карно. Обратимые и необратимые циклы. Анализ прямых и обратных циклов. Циклы тепловых двигателей внутреннего сгорания.	2	
Практическое занятие. Применение первого и второго законов термодинамики для анализа процессов и циклов.	2	
Лабораторная работа. Определение параметров воды и водяного пара с использованием $h$ -диаграммы, справочных таблиц и специальных программ.	2	

Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Сделать конспект и выполнить практические задания по темам: Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Термодинамические свойства веществ. Основные термодинамические процессы. Процессы течения газов и жидкостей. Дросселирование потока газа и жидкости. Истечение из сопел, сопло Лаваля. Фазовые переходы. Теплофизические свойства воды и водяного пара. Определение теплофизических свойств веществ с использованием диаграмм состояния, справочных таблиц и программ на примере воды и водяного пара. Работа с $h$ - диаграммой воды и водяного пара. Циклы паросиловых установок. Выполнить курсовую работу на тему: Расчет цикла паросиловой установки.	66	
Иная контактная работа:	0	

### 5 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>Теплофизические свойства воды и водяного пара. Теплосиловые паровые циклы. Комбинированные циклы. Влажный воздух. Холодильные циклы.</b>	<b>108</b>	ОПК-3
Практическое занятие. Анализ паросиловых циклов с использованием диаграмм и таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара. Расчет циклов холодильных машин и тепловых насосов. Работа с диаграммой Рамзина - Молье.	2	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Сделать конспект и выполнить практические задания по темам: Сжатие газов в компрессоре. Общие методы анализа эффективности циклов тепловых двигателей. Теплосиловые газовые циклы, циклы двигателей внутреннего сгорания и циклы газовых турбин. Бинарные циклы. Комбинированные циклы парогазовых энергетических установок. Параметры влажного воздуха. Определение параметров влажного воздуха и анализ при помощи $h$ -диаграммы Рамзина-Молье таких процессов, как нагрев влажного воздуха, сушка воздухом. Циклы холодильных машин и тепловых насосов.	106	
Иная контактная работа:	0	
Подготовка к экзамену	30	
Проведение экзамена	6	

### Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой, ее структурой и содержанием разделов. Учебный материал структурирован, изучение дисциплины осуществляется в тематической последовательности. **Занятия лекционного типа** дают систематизированные знания по дисциплине, концентрируют внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала; обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть проблемы, явления или процесса; зафиксировать выводы и практические рекомендации.

Подготовка к занятиям семинарского типа включает ознакомление с планом **практического и лабораторного** занятия; работу с конспектом лекций, выполнение домашнего задания, работу с учебной и учебно-методической литературой, научными изданиями и электронными образовательными ресурсами, рекомендованными рабочей программой дисциплины.

Содержание **самостоятельной работы** определяется рабочей программой дисциплины, оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным средством осуществления самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к образовательной программе, рабочей программе дисциплины, к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Изучение дисциплины включает выполнение **курсовой работы, расчетных заданий, лабораторной работы, конспектов лекций.**

Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе. Условия аттестации приведены в технологической карте, входящей в состав рабочей программы дисциплины.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине является **балльно-рейтинговый контроль, экзамен; по курсовой работе является дифференцированный зачёт.**

## Раздел 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебно-методическое обеспечение

№№ п/п	Список используемой литературы	Количество экземпляров печатных изданий, имеющих в библиотеке, или электронный адрес издания (ресурса) в сети Интернет
<b>УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ</b>		
1.	Кириллин, Владимир Алексеевич. Техническая термодинамика [Текст] : [учеб. для студентов вузов по направлению подгот. 140100 "Теплоэнергетика"] / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. 5-е изд., перераб. и доп. М.: МЭИ, 2008. - 495 с. ISBN 978-5-383-00263-6. Экземпляры: всего 29.	29
2.	Кудинов, Василий Александрович. Техническая термодинамика и теплопередача [Текст] : учебник для академического бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. 3-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2015. - 566 с. ISBN 978-5-9916-4017-6. Экземпляры: всего 50.	50
3.	Сборник задач по технической термодинамике [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов по направлениям "Теплоэнергетика" и "Техн. физика" / Т. Н. Андрианова, Б. В. Дзампов, В. Н. Зубарев и др. М.: Изд-во МЭИ, 2000. - 351 с. ISBN 5-7046-0634-2. Экземпляры: всего 21.	21
4.	Хлебников, Валерий Алексеевич. Техническая термодинамика [Текст] : лаб. практикум / В. А. Хлебников, А. В. Маряшев. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. - 114 с. Экземпляры: всего 44.	44

5.	Александров, Алексей Александрович. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [Текст] : справочник : рек. Гос. службой стандарт. справ. данных ГСССД Р-776-98 / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. М.: Изд-во МЭИ, 2003. - 158 с. ISBN 5-7046-0397-1. Экземпляры: всего 33.	33
6.	Александров, Алексей Александрович. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок [Текст] : [учеб. пособие для студентов вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов "Теплоэнергетика"] / А. А. Александров. 2-е изд., стер. М.: МЭИ, 2006. - 157 с. ISBN 5-903072-60-7. Экземпляры: всего 11.	11
7.	Цирельман, Н. М. Техническая термодинамика [Электронный ресурс] / Цирельман Н. М. 3-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 352 с. ISBN 978-5-8114-8522-2.	<a href="https://e.lanbook.com/book/176665">https://e.lanbook.com/book/176665</a>
ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ		
1.	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
2.	Научная электронная библиотека «Киберленинка»	<a href="http://cyberleninka.ru">http://cyberleninka.ru</a>
3.	Издательство Springer (SpringerOpen)	<a href="https://www.springeropen.com">https://www.springeropen.com</a>
4.	Издательство Elsevier	<a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>
5.	Издательство SpringerNature	<a href="https://www.nature.com/">https://www.nature.com/</a>
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ		
1.	Профессиональные справочные системы Техэксперт	<a href="http://www.cntd.ru">http://www.cntd.ru</a>

## 6.2. Материально-техническая база и программное обеспечение

№№ п/п	Аудитории для проведения учебных занятий, самостоятельной работы и проведения государственной итоговой аттестации	Перечень основного оборудования	Программное обеспечение
1.	125 (I)	Автоматизир.система учета АСУРТВ (1), Ампервольтметр Щ-387 (1), Дискретный ввод (счетчики) 8каналов (1), Дискретный выход с ШИМ 8каналов (1), Клапан ДУ 50 (1), КОМПЛЕКС Д/ИЗМ ДАВЛ (3), Лабораторная установка "Автоматизированная котельная на жидком и газообразном топливе" АК-01-2 (1), Лабораторная установка "Автоматизированный тепловой пункт" (1), Лабораторный	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО

		<p>стенд-тренажер "Тепловой насос (1), Лабораторный стенд-тренажер "Холодильник-1" (1), ЛОМИКОНТ (1), Макет мобильной газотурбинной электростанции в масштабе 1:87 (1), Макет тепловой электростанции с турбогенераторами (1), Модуль аналогового ввода 16разрядный 16каналов (2), Модуль аналогового ввода 16разрядный 8каналов (1), Накладные датчики КУРСВ-010М (2), Низкотемпературный прилавок ПХН-0,28 (1), ПЕЧЬ МУФЕЛЬНАЯ (1), ПК(сист.бл,клав,мышь опт,ковр,монит22" View Sonic TFT VA2216W-4 (1), Плоттер HP Design Jet 430 (1), ПРИБОР ИТВ-3М (1), ПРИБОР ФЩЛ 501-13 (1), Принтер Canon LBP 1120 (1), Проектор мультимедийный Hitachi CP- RX93 (1), Расходомер ЭРСВ410 Ду=32 (2), Релейный выход 8каналов (1), Сенсорный управляющий экран ТРС-2006 (1), Система автоматизации реального времени (1), Сканер Epson 2400 (1), Соединительный узел с FP-СВ-11/778618-11 (7), Стеллаж 1420*950*500 (1), Тепловычислитель ТРСВ-030 (1), Терморегулятор С5М1"Электроника" (1), Типовой комплект учебного оборудования "Автоматика систем теплоснабжения и вентиляции" АТГСВ-16-11ЛР-01 (1), Типовой комплект учебного оборудования "Автономная автоматизированная система отопления" АСО-05 (1), Ультразвуковой расходомер УРСВ-010 (1), Циркуляционный термостат ЛАБ-ТЖ-ТС 01/26-100 (1), Шкаф ШХ-0.40МС (1), Экран на треноге 150*150 (2), Экран на штативе 180x180 MW (1), Элеватор ЭГО 01 (1), Комплект учебной мебели (1)</p>	для решения основных пользовательских задач
2.	255 (I)	<p>Проектор мультимедийный Hitachi CP- RX93 (1), Комплект учебной мебели (1)</p>	<p>Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office</p>



			Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
3.	121 (I)	Ампервольтметр Ф-30 (1), Аппарат для резки Мультиплаз- 3500 (1), Газоанализатор АНКAT 7664 (1), Заправочное устройство КФПТ 1-10 (1), Комплект кодотанспор.по курсу те (1), Комплект пирометриста Шанс-01 (1), Комплект расходомерриста Лебедь КР-01 (1), Комплект расходомерриста Лебедь КР-02 (1), Компл-т кодотанспор.по тех термод (1), Компьютер RAMEC GALE Custom i3-3200/4ГБ/ монитор LCD 21.5", клавиат.,мышь (15), МФУ Canon MF -4410 (1), Ноутбук Easynote TE 11 HC (1), ПК(сист.бл,клав,мышь опт,ковр,монит22" View Sonic TFT VA2216W-4 (3), Плата аналого-цифрового преобразования USB-6008 12 -bit (3), Прибор расходомер ультразвуковой "Взлет ПР" с толщиномером"Взлет УТ" (1), Принтер HP LaserJet Pro 400 M401a (1), Принтер Samsung ML-1615 (1), Принтер цветной Canon I-Sensys LBP7100Cn (1), Проектор Acer P1220 DLP 3 D 2700 LUMENS XGA 3000 (1), Проектор мультимедийный Hitachi CP- RX93 (1), Сварочный аппарат Brima Mars 205 (1), Сварочный аппарат Telwin Digital Modular 230 (1), Сварочный аппарат ТОРУС 255 (1), Стенд рекламно-информационный 100x100 (3), Термометр электронный ТЭН-5 (2), УСТАНОВКА ИЗ ТЕПЛОПР (1), УСТАНОВКА ИЗУЧ.ТЕПЛ. (1), УСТАНОВКА ТП-003 (1), УСТАНОВКА ТП-005 (1), УСТАНОВКА ТП-011 (1),	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач

	Установка ФПТ 1-3 (1), Установка ФНТ 1-1 (1), Установка ФПТ 1-10 (1), Установка ФПТ 1-8 (1), Установка ФПТ-12 (1), Циркуляционный термостат ЛАБ-ТЖ-ТС 01/26-100 (1), Комплект учебной мебели (1)
--	--

## Раздел 7. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ/ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Критерии оценивания индикаторов достижения компетенций направлены на:

- усвоение теоретического материала (объем знаний, глубина усвоения), предусмотренного рабочей программой;
- умение излагать материал (четкость, грамотность изложения материала, точность и полнота воспроизведения учебного материала);
- умение применять теоретические знания при решении практических заданий.

Шкала оценивания представлена ниже.

Уровень сформированности элементов компетенции	Критерии оценивания	Шкала оценивания
Пороговый уровень	Обучающийся имеет знания основного материала, проявляет умение логично его излагать, но может допускать неточности в изложении материала, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в выполнении практических заданий.	удовлетворительно
Продвинутый уровень	Обучающийся твердо знает программный материал, излагает его грамотно и по существу, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения	хорошо
Высокий уровень	Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, грамотно и логически стройно его излагает, дает исчерпывающие ответы на поставленные вопросы. В ответе тесно увязывается теория с практикой, при этом обучающийся не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, показывает знакомство с монографической литературой, периодическими изданиями, правильно обосновывает принятые решения, свободно владеет разносторонними навыками, приемами выполнения практических работ	отлично

### 7.1. Промежуточная аттестация обучающихся

Промежуточная аттестация обучающихся направлена на оценивание результатов обучения по дисциплине (модулю) и проводится с использованием фондов оценочных средств.

Примеры типовых контрольных заданий из базы фонда оценочных средств по

образовательной программе.

1. Чему равна внутренняя энергия идеального газа  $u_2$  в конце изохорного процесса 1-2, если начальное давление  $p_1 = 1$  бар,  $u_1 = 1000$  кДж/кг, конечное давление  $p_2 = 4$  бар и в изохорном процессе 1-2 подводится теплота  $q = 500$  кДж/кг?

- а)  $u_2 = 1500$
- б)  $u_2 = 1000$
- в)  $u_2 = 4000$
- г) мало данных

2. Смесь  $N_2$ ,  $O_2$  и  $CO_2$  находится при нормальных условиях. Чему равно парциальное давление  $N_2$ , если  $p_{O_2} = 0,5$  бар,  $p_{CO_2} = 0,32$  бар ?

- а)  $p_{N_2} = 0,18$
- б)  $p_{N_2} =$  0,193
- в)  $p_{N_2} = 0,161$
- с)  $p_{N_2} = 0,213$

3. Если  $q_1$  - подводимая теплота, а  $q_2$  - отводимая теплота, то каким выражением определяется термический КПД цикла теплового двигателя?

- а)  $1 - q_2/q_1$
- б)  $q_2/(q_1 - q_2)$
- в)  $q_2/q_1$
- с)  $(q_2 - q_1)/q_2$

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

#### Вопросы на Зачет

1. Термодинамика и её метод. Какова область изучения технической термодинамики?
2. Что такое параметры состояния вещества? Назовите три основных параметра состояния вещества.
3. Что такое абсолютная температура (термодинамическая температура) и в каких единицах она измеряется?
4. Что такое давление и в каких единицах оно измеряется? Что такое абсолютное давление? Что такое барометрическое давление? Что такое избыточное давление и чем оно отличается от абсолютного?
5. Что такое удельный объём и в каких единицах он измеряется и чем отличается от объёма? Что такое плотность вещества? Что такое удельный вес?
6. Что называют уравнением состояния? Что называют термодинамической поверхностью? Что

такое диаграмма состояния вещества?

7. Что такое термодинамическая система, что называют термодинамическим процессом. Приведите примеры термодинамических систем и термодинамических процессов.
8. В чём отличие равновесных процессов от неравновесных. Приведите примеры равновесных и неравновесных процессов.
9. Какой процесс называют изотермическим? Какой процесс называют изохорным? Какой процесс называют изобарным? Какой процесс называют изоэнтальпным? Какой процесс называют адиабатным? Приведите примеры данных процессов.
10. Что называют идеальным газом? Приведите закон Бойля-Мариотта для идеального газа.
11. Приведите закон Гей-Люссака для идеального газа. Что такое температурный коэффициент объёмного расширения газа и как он связан с абсолютной температурой?
12. Что такое газовая постоянная? Приведите уравнение Клапейрона.
13. Что называют идеальным газом? Приведите примеры идеальных газов? При каких условиях свойства реальных газов близки к свойствам идеальных газов? Приведите уравнение состояния идеального газа.
14. Приведите закон Авогадро? Что называют числом Авогадро и каково его значение?
15. Что называют универсальной газовой постоянной? Каково значение и единицы измерения универсальной газовой постоянной? Как определить газовую постоянную конкретного газа, используя универсальную газовую постоянную и относительной молекулярной массы газа, приведите пример.
16. Что называют чистыми веществами и смесями? Приведите пример смеси газов. Как определяется состав смеси? Что такое массовая, объёмная и мольная доли компонента?
17. Приведите закон Дальтона для смеси газов. Что такое парциальное давление идеального газа в смеси? В чём значение закона Дальтона? Применим ли он к реальным газам?
18. Как определить газовую постоянную смеси газов? Как определить парциальное давление компонента, используя значение объёмной и мольной доли компонента?
19. Что называют теплоёмкостью? Чем отличается средняя и истинная теплоёмкости? Что такое массовая, мольная и объёмная теплоёмкости? Чем отличается изобарная теплоёмкость от изохорной?
20. Что называют теплотой? Что называют работой? Какой вид работы всегда сопровождается изменением объёма тела? Приведите единицы измерения теплоты и работы? Что такое механический эквивалент теплоты?
21. Объясните единицу измерения 1 килограмм-сила, 1 килограмм-сила умноженная на метр, 1 Джоуль. Как эти единицы измерения связаны между собой?
22. Опишите закон сохранения и превращения энергии? Запишите формулу, по которой можно выразить количество работы расширения через давление, удельный объём и работу внешних сил. Запишите формулу и в дифференциальном и в интегральном виде.
23. Запишите уравнение первого закона термодинамики и объясните его. В каком случае в этом уравнении теплота и работа считаются положительными, а в каком случае отрицательными?
24. Что такое внутренняя энергия тела, идеального газа. Что такое удельная внутренняя энергия? Объясните закон Джоуля. От каких параметров зависит внутренняя энергия вещества? Как можно определить изменение внутренней энергии по первому закону термодинамики?
25. Что называют энтальпией? Каковы единицы измерения энтальпии? Что называют удельной

энтальпией и каковы единицы её измерения?

26. Запишите уравнение первого закона термодинамики для потока и объясните его.
27. Запишите уравнение первого закона термодинамики для потока газа (жидкости) в сужающемся канале и объясните его. Сделайте поясняющий рисунок.
28. Что называют термодинамическим циклом? Приведите примеры циклов. Как в общем случае определяется работа расширения в цикле и работа сжатия в цикле? От чего будет зависеть величина суммарной работы цикла?
29. Что называют термическим коэффициентом полезного действия (КПД) цикла? Приведите формулы термического КПД цикла для 1 кг рабочего тела. Объясните значение КПД, что он показывает?
30. В чём отличие прямого и обратного циклов? Приведите иллюстрацию условного прямого и обратного циклов в  $p$ - $v$ -координатах? В каком случае работа сжатия будет больше работы расширения?
31. В чём отличие обратим процессов от необратимых? Дайте определения. Приведите примеры обратимых и необратимых процессов.
32. Сформулируйте второй закон термодинамики.
33. Приведите цикл Карно в  $p$ - $v$ -координатах. Объясните из каких процессов состоит цикл Карно. Изобразите обратный цикл Карно в  $p$ - $v$ -координатах и объясните из каких процессов он состоит. Запишите выражение для термического КПД цикла Карно, используя абсолютные (термодинамические) температуры.
34. Приведите формулы термического КПД обратимого и необратимого циклов Карно, используя абсолютные (термодинамические) температуры. Сравните термический КПД обратимого и необратимого циклов Карно.
35. Сформулируйте теорему Карно. В чём практическое значение теоремы Карно?
36. Что такое энтропия, каков её физический смысл? Чему равно значение энтропии? Каковы единицы измерения энтропии? Как определить разность энтропий в конце и начале какого-либо процесса?
37. Изобразите цикл Карно в  $T$ - $s$ -диаграмме. Что называют адиабатным процессом. Что называют изоэнтропным процессом. Почему обратимые адиабатные процессы называют также изоэнтропными?
38. Почему изменение энтропии в необратимых процессах больше, чем в обратимых? Приведите аналитическое выражение второго закона термодинамики.
39. Запишите объединённые уравнения первого и второго законов термодинамики.
40. От чего зависит максимальная полезная работа изолированной системы? Приведите выражение для максимальной полезной работы изолированной системы и объясните её.
41. Что называют эксергией и как её определить? Что называют эксергией теплоты?
42. Что называют потерей работоспособности системы? Каким образом в анализе эффективности работы тепловых установок применяется уравнение Гюи—Стодоль?
43. Что называют фазовым переходом? Что такое точка кипения, точка плавления и точка сублимации? Опишите правило фаз Гиббса.
44. Что называют кривой фазового перехода или пограничной кривой? Что называют тройной точкой и критической точкой? Каковы давление и температура тройной и критической точек воды?
45. Что называют линией насыщения на фазовой диаграмме? Какой пар называют насыщенным?

Какой пар называют перегретым?

46. Приведите уравнение Ван-дер-Ваальса и объясните его.
47. Какую смесь называют двухфазной? Что называют влажным паром? Какой пар называют сухим насыщенным? Что называют степенью сухости двухфазной смеси? Что называют степенью влажности двухфазной смеси?
48. Что называют термодинамическими диаграммами состояния вещества? Приведите примеры, изобразите пограничные кривые на диаграмме.
49. Чему равна работа расширения системы в изохорном процессе? Как определить количество теплоты, сообщаемое системе при изохорном нагреве?
50. Приведите формулы для определения количества работы расширения системы в изобарном процессе и количества теплоты, сообщаемого системе при изобарном нагреве?
51. Приведите формулы для определения работы расширения системы в изотермическом процессе и количества теплоты, сообщаемого системе при изотермическом процессе?
52. При каких условиях адиабатный процесс будет являться также изоэнтропным. Всякий ли изоэнтропный процесс является в то же время адиабатным? Что такое показатель изоэнтропы?
53. Приведите уравнение адиабаты Пуассона. Чему равен показатель изоэнтропы для идеального одноатомного газа, двухатомного газа, трех- и многоатомного газа? Чему равен показатель изоэнтропы воздуха?
54. Приведите формулы для определения работы расширения системы в изоэнтропном процессе. Чему равно количество теплоты, сообщаемого системе в изоэнтропном процессе? Чему равна теплоемкость изоэнтропного процесса?
55. Какой процесс называют политропным? Что называют показателем политропы? Чему равен показатель политропы для изотермического и адиабатного процессов? Приведите уравнение политропного процесса. Изобразите на  $p-v$ -диаграмме изоэнтропный, изотермический, изохорный и адиабатный процессы.
56. Приведите формулы для определения работы расширения системы в политропном процессе и количества теплоты, сообщаемого системе в политропном процессе?
57. Что называют дросселированием? Что называют мятием пара? Как изменяется температура при дросселировании идеального и реального газов? Что называют эффектом Джоуля-Томсона при адиабатном дросселировании.
58. Как определить энтальпию и температуру смеси, полученной в результате смешения в потоке, если известны параметры исходных потоков? Приведите примеры устройств, в которых происходит смешение в потоке?
59. Что такое индикаторная диаграмма компрессора? Как определить техническую работу компрессора? По какой формуле можно определить количество теплоты, отводимой от 1 кг идеального газа в процессе его сжатия?
60. Что называют скоростью звука? Чему равна скорость звука в воздухе, водяном паре, воде, стали? Как зависит скорость звука от сжимаемости среды?
61. Что называют соплами? Что называют конфузуром и диффузором? Изобразите сопло Лаваля и расскажите о его применении.
62. Чем отличается термический КПД термодинамического цикла и внутреннего КПД термодинамического цикла? Что называют внутренним относительным КПД цикла? Что называют эффективным КПД теплосиловой установки?
63. Опишите метод анализа эффективности тепловых установок с использованием коэффициентов

полезного действия.

64. Что называют внутренним относительным КПД теплового двигателя? Что называют внутренним относительным КПД аппарата, сжимающего рабочее тело (компрессора)?
65. Опишите эксергетический метод анализа эффективности тепловых установок. Чему равна эксергия потока единицы массы?
66. Что называют влажным воздухом? Каково назначение  $h_d$ -диаграммы влажного воздуха?
67. Приведите формулы для определения: влагосодержания влажного воздуха, относительной влажности, абсолютной влажности?
68. Что называют температурой точки росы? От чего зависит предельное влагосодержание воздуха? Как определить энтальпию влажного воздуха?
69. Что называют парциальным давлением водяного пара во влажном воздухе. Как можно определить парциальное давление водяного пара во влажном воздухе.
70. Каким образом можно измерить влажность воздуха? Расскажите об устройстве и принципе действия приборов для измерения влажности воздуха.

#### **Вопросы на экзамен**

1. Цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном объеме.
2. Цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания с подводом теплоты при постоянном давлении.
3. Цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты.
4. Сравнение циклов поршневых двигателей внутреннего сгорания.
5. Цикл газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном давлении.
6. Цикл газотурбинной установки со сгоранием топлива при постоянном давлении и регенерацией теплоты.
7. Принципиальные схемы и циклы ГТУ.
8. Сравнительный анализ ДВС и ГТУ.
9. Способы повышения термического КПД Газотурбинной установки.
10. Водяной пар. Фазовая  $P_t$ -диаграмма воды. Тройная точка.
11.  $h_s$ -диаграмма и таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара.
12. Истечение газов с учетом трения. Истечение водяного пара.
13. Идеализированный цикл Ренкина паротурбинной установки с перегревом пара, схема паросиловой установки.
14. Идеализированный цикл Ренкина паротурбинной установки с повторным перегревом пара и регенерацией теплоты.
15. Действительный цикл Ренкина с учетом необратимости процессов.
16. Влияние параметров пара на термический КПД цикла Ренкина. Способы повышения КПД цикла Ренкина.
17. Бинарные теплосиловые циклы.
18. Схема и цикл парогазовой установки.

19. Сравнительный анализ ГТУ и ПСУ.
20. Термодинамические основы теплофикации.
21. Холодильные циклы. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент.
22. Цикл и принципиальная схема воздушной холодильной установки
23. . Цикл и принципиальная схема парокомпрессионной холодильной установки с влажным паром.
24. Цикл и принципиальная схема парожетторной холодильной установки.
25. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки и принципиальная схема абсорбционной холодильной установки.
26. Принципиальная схема и цикл теплового насоса.