

Частное образовательное учреждение высшего образования  
«Академический институт прикладной энергетики»

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

  
Т.В. Ковалева /  
(подпись) (Ф.И.О.)

« 19 » 09 2017 г.

**Рабочая программа дисциплины  
Б1.Б.17 Техническая термодинамика**

Вид образования:	Профессиональное образование
Уровень образования:	Высшее образование <i>бакалавриат</i>
Квалификация выпускника:	Бакалавр
Направление подготовки:	<b>13.03.01 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА</b>
Направленность (профиль) образовательной программы:	Энергообеспечение предприятий
Тип образовательной программы:	Программа <i>академического бакалавриата</i>
Форма обучения:	<i>заочная</i>
Срок освоения образовательной программы:	<i>5 лет</i>

Нижевартовск 2017 г.

### **1. Цели освоения дисциплины**

Целью и задачами освоения учебной дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование знаний и практических навыков по получению, преобразованию, передаче и использованию тепловой энергии, а также правильный выбор и эксплуатация теплотехнического оборудования с максимальной экономией теплоэнергетических ресурсов и материалов, интенсификация технологических процессов.

### **2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата**

Учебная дисциплина «Техническая термодинамика» входит в блок Б.1. (базовая часть) учебного плана подготовки бакалавров и является обязательной для изучения. Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знание основных законов физики, умения строить модели и решать конкретные задачи определенной степени сложности, владение целостной системой знаний, формирующей физическую картину окружающего мира и, в особенности законов термодинамики и теплотехники. Предшествующие дисциплины: «Физика», «Химия», «Механика», «Физика в теплоэнергетике», «Физико-химические основы водоподготовки». Последующие дисциплины: «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологии», «Тепломассообменное оборудование предприятий», «Основы трансформации теплоты» и др.

### **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине:**

#### **3.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины согласно матрице соответствия компетенций и составляющих ПК:**

Профессиональные:

ПК–13 - налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств;

ПК–14 - профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования;

ПК–15 - готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования;

ПК–16 - анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования;

ПК-21 - планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, математически моделировать физические и химические процессы и явления, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения;

ПК-24 - использовать знания основных термодинамических теорий для решения возникающих технических задач, самостоятельного приобретения технических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления;

ПК-25 - изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по изучаемой тематике.

#### **3.2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями.**

Студент, изучивший дисциплину, должен:

**Знать:** закономерности основных термодинамических процессов с идеальным и реальным газами; принципы оптимизации энерготехнологических систем; принцип «многоступенчатости», принципы, связанные с обходом и выходом энергоносителей, принципы регенерации и интеграции тепла; схемы и циклы тепловых машин (ДВС, ПСУ) и холодильных установок, их к.п.д.

**Уметь:** определять термодинамические параметры и теплофизические свойства различных газов, водяного пара и хладагентов и других веществ; пользоваться первым и вторым законами термодинамики; пользоваться термодинамическими методами

повышения эффективности использования подводимой энергии; пользоваться справочной литературой, диаграммами.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц – 288 часа.

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы:

Вид учебной деятельности	Всего часов	курс 3	курс 4
		6 семестр	7 семестр
Аудиторные занятия (всего)	34	12	22
В том числе:			
Лекции	14	6	8
Практические занятия (ПЗ)	20	6	14
Самостоятельная работа (всего)	218	96	122
Подготовка к экзамену	36	-	36
Вид аттестации		<b>Зачет</b>	<b>Экзамен</b>
Общая трудоемкость (часы)	288	108	180
Зачетные единицы	8	3	5

##### 4.2. Разделы дисциплины и виды учебной работы

№ п/п	Раздел Дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Основные понятия термодинамики	+			+	собеседование
2.	Первый закон термодинамики	+			+	доклад
3.	Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов	+	+		+	коллоквиум
4.	Процессы с идеальными газами	+			+	собеседование
5.	Второй закон термодинамики	+			+	собеседование
6.	Смеси газов	+			+	реферат
7.	Методы термодинамического анализа	+			+	доклад
8.	Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами	+	+		+	собеседование
9.	Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики	+	+		+	собеседование
10.	Основы химической термодинамики	+			+	собеседование

11.	Третий закон термодинамики и его следствия	+	+		+	собеседование
12.	Процессы истечения газов и жидкостей в соплах	+			+	доклад
13.	Влажный воздух	+			+	доклад
14.	Циклы паротурбинных установок	+	+		+	собеседование
15.	Теплофикационные циклы	+	+		+	собеседование
16.	Циклы АЭС	+	+		+	собеседование
17.	Циклы ГТУ и ДВС	+	+		+	собеседование
18.	Циклы парогазовых установок	+	+		+	собеседование
19.	Циклы холодильных и теплонасосных установок	+	+		+	собеседование

### 4.3. Содержание учебного материала по разделам (темам)

#### **1. Основные понятия термодинамики**

Техническая термодинамика как теоретическая основа систем энергообеспечения (теплотой, электроэнергией и холодом). Понятия о термодинамических системах, параметрах состояния, равновесных и неравновесных процессах. Определение понятий термодинамической системы и окружающей среды. Функции состояния и функции процесса. Уравнение состояния идеальных газов. Термические коэффициенты и соотношение между ними.

#### **2. Первый закон термодинамики**

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа - формы передачи энергии. Принцип эквивалентности тепла и механической работы. Формулировки первого закона термодинамики. Внутренняя энергия и ее свойства. Энтальпии и её свойства. Виды работ термомеханической системы и связь между ними. Первый закон термодинамики для стационарного потока массы. Вывод и примеры его приложения. Определение изобарной и изохорной теплоемкостей, вывод уравнения для их соотношения. Определение теплоемкости. Размерность теплоемкостей. Соотношение массовой, мольной и объемной теплоемкостей. Теплоемкость идеальных газов. Уравнение Майера.

#### **3. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов**

Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости газов. Зависимость теплоемкости идеального газа от температуры. Формула Эйнштейна для расчета колебательных степеней свободы.

#### **4. Процессы с идеальными газами**

Внутренняя энергия и энтальпия идеального газа. Таблицы термодинамических свойств идеальных газов. Основные процессы идеальных газов. Вывод соотношений для относительных объемов и давлений для адиабатного процесса с учетом зависимости теплоемкости от температуры. Политропные процессы и их анализ. Графическое представление процессов в  $Pv$  и  $PT$ -диаграммах.

#### **5. Второй закон термодинамики**

Понятие об обратимых и необратимых процессах. Второе начало термодинамики. Формулировки и аналитическое выражение. Интеграл Клаузиуса. Определение энтропии. Вывод формулы для расчета изменения энтропии в процессах с идеальными газами. КПД прямого цикла Карно и теоретический холодильный коэффициент цикла Карно. Первая и вторая теоремы Карно. Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропийный метод термодинамического анализа для процесса теплообмена в конденсаторе ПТУ. Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропийный метод термодинамического анализа для процессов расширения (в турбине) и сжатия (в компрессоре).

T, S - диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в T, S - диаграмме. Понятие о среднеинтегральной температуре подвода и отвода теплоты. Возрастание энтропии изолированной системы. Свойства энтропии. Аналитическое выражение второго закона термодинамики.

#### **6. Смеси газов**

Смеси идеальных газов. Основные определения. Способы задания состава смеси. Уравнение состояния Клапейрона-Менделеева для смеси идеальных газов. Расчет термодинамических свойств идеальных газов по свойствам компонентов. Энтропия смеси идеальных газов.

Смеси реальных газов. Калорические эффекты смешения. Определение калорических эффектов смешения по объемному эффекту смешения. Зависимость калорических эффектов смешения от давления и концентрации.

#### **7. Методы термодинамического анализа**

Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропийный метод термодинамического анализа для процесса теплообмена в конденсаторе ПТУ. Изменение энтропии в необратимых процессах. Понятие об изэнтропном (внутреннем относительном) КПД. Энтропийный метод термодинамического анализа для процессов расширения (в турбине) и сжатия (в компрессоре).

Определение эксергии. Потери эксергии. Формула Гюи - Стодола. Эксергетический КПД. Эксергетический метод термодинамического анализа. Эксергия неподвижной системы и стационарного потока. Эксергия источников теплоты с постоянной и переменной температурами. Эксергетический КПД турбины и компрессора. Эксергетический КПД теплообменного аппарата и трубопровода. Эксергетический КПД прямого цикла. Эксергетический КПД обратного цикла.

#### **8. Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами**

Фазовое равновесие и фазовые переходы. Агрегатные состояния. Фазовая p, T - диаграмма. Правило фаз Гиббса. Полные TS, PV и PT диаграммы для нормальных веществ.

PV и PT диаграммы для состояний воды и пара. Степень сухости, кипящая жидкость, сухой насыщенный и влажный пар. Справочные таблицы по теплофизическим свойствам воды и водяного пара. Метастабильные состояния переохлажденного пара и перегретой жидкости. Фазовые PV, hP, hS диаграммы в области жидкости и водяного пара. Свойства воды и водяного пара. Зависимость теплоемкости Cp водяного пара от температуры при до- и сверхкритических давлениях.

Равновесные изотермический, изобарный и изохорный процессы реального вещества в PV, TS, PT и hS диаграммах. Расчет теплоты и работы. Фазовые PV, hP, hS диаграммы в области жидкости и пара. Теоретический и реальный адиабатный процесс в турбинах и компрессорах. Изображение адиабатных процессов в TS и hS диаграммах. Вычисление технической работы и мощности.

Процесс адиабатного дросселирования. Изображение процесса в TS, hP диаграммах. Кривая инверсии в hP и PT диаграммах. Вывод зависимости коэффициента адиабатного дросселирования от изменения термических параметров. Аналитическое и графическое (в TS диаграмме) сравнение процессов адиабатного дросселирования и изэнтропного расширения.

#### **9. Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики**

Условие термодинамического равновесия в изолированной системе. Условия термодинамического равновесия при взаимодействии системы с окружающей средой.

Условия устойчивости и равновесия в изолированной однородной системе. Принцип Ле Шателье – Брауна. Условие фазового равновесия в области жидкости и пара. Анализ устойчивости фаз в области жидкости и пара с помощью химического потенциала.

Зависимость теплоты парообразования от температуры. Уравнение Клайперона-Клаузиуса.

Уравнение состояния реального газа Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса в  $PV$  диаграмме. Коэффициент сжимаемости. Температура Бойля. Уравнение состояния реального газа в вириальной форме.

Характеристические функции для закрытой термодинамической системы и вывод соотношений Максвелла.

Выражение теплоемкостей  $C_p$  и  $C_v$  через изменение энергий Гельмгольца и Гиббса.

Летучесть реального газа. Характеристические функции при изменяющемся в системе количестве вещества. Характеристические функции многокомпонентной (гетерогенной) системы.

Дифференциальные уравнения, связывающие  $u$ ,  $h$  реальных газов с термическими параметрами в  $V$ ,  $T$  –переменных. Дифференциальные уравнения, связывающие  $u$ ,  $h$  реальных газов с термическими параметрами в  $P$ ,  $T$  –переменных. Дифференциальные уравнения, связывающие теплоемкости реальных газов  $C_p$  и  $C_v$  между собой и с производными от  $P$ ,  $V$ ,  $T$  –параметров.

### **10. Основы химической термодинамики**

Тепловые эффекты химических реакций. Закон Гесса и его следствия. Соотношение между изохорным и изобарным эффектами реакции. Определение теплового эффекта химической реакции при условиях, отличающихся от стандартных. Зависимость теплового эффекта химической реакции  $Q_p$  от температуры. Закон Кирхгофа. Анализ химического равновесия с помощью энергии Гиббса. Физический смысл химического потенциала. Константа равновесия. Закон действующих масс. Принцип Ле Шателье – Брауна. Аналитическое выражение второго начала термодинамики для необратимых химических реакций. Химическое равновесие и закон действующих масс. Выражение зависимости константы равновесия от температуры. Вывод уравнения Вант-Гоффа. Графическая иллюстрация зависимости константы равновесия ( $\ln K$ ) от температуры ( $1/T$ ).

### **11. Третий закон термодинамики и его следствия**

Тепловая теорема Нернста. Гипотеза Планка. Третий закон термодинамики и его следствия. Определение значения абсолютной величины энтропии на основе калорических данных.

### **12. Процессы истечения газов и жидкостей в соплах**

Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока. Адиабатное течение газа и несжимаемой жидкости. Вывод зависимости скорости звука от термодинамических параметров. Уравнение Лапласа. Скорость и расход газа в суживающихся соплах. Кризис течения в суживающемся сопле. Сравнение скорости звука в газовых и жидких средах. Вычисление критического отношения давлений и скорости звука в соплах. Переход на сверхзвуковые режимы течения в комбинированном сопле. Уравнение неразрывности в дифференциальной форме. Качественный анализ зависимости выходной скорости потока для диффузоров и сопел при скоростях набегающего потока меньших или больших скорости звука. Вычисление выходных скорости, сечения (расхода) в соплах при заданных скоростях набегающего потока. Параметры полного адиабатического торможения потока. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости и расхода.

### **13. Влажный воздух**

Основные определения.  $h$ - $d$  диаграмма. Определение относительной влажности  $j$ , массового влагосодержания  $d$  и точки росы по  $h$ - $d$  диаграмме. Определение точки росы и парциального давления водяного пара по формулам и по  $h$ - $d$  диаграмме. Определение по  $h$ - $d$  диаграмме количества удаленной влаги. Процесс сушки влажного материала нагретым воздухом в  $h$ ,  $d$  - диаграмме влажного воздуха. Вычисление энтальпии влажного воздуха.

### **14. Циклы паротурбинных установок**

Принципиальная схема паротурбиной установки. Цикл в  $p$ ,  $v$  и  $T$ ,  $s$  диаграммах. Термический КПД цикла. Влияние  $P$ ,  $T$  – параметров теоретического цикла на КПД и мощность ПТУ. Анализ цикла Ренкина с учетом необратимых внутренних потерь. Внутренние относительные КПД турбин и насосов. Действительный и относительный КПД цикла. Абсолютный эффективный КПД ПТУ. Диаграмма тепловых потоков в ПТУ. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Термический КПД, удельные расходы пара и тепла. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Зависимость термического КПД от давления промперегрева. Регенеративный цикл ПТУ. Схема с подогревателями смешивающего типа. Термический КПД, удельные расходы пара и тепла. Регенеративный цикл ПТУ. Схема с подогревателями поверхностного типа. Термический КПД, удельные расходы пара и тепла. Зависимость КПД цикла от температуры питательной воды и числа регенеративных подогревателей. Теоретические  $TS$  и  $TD$  – диаграммы для бесконечного числа регенеративных подогревателей.

### **15. Теплофикационные циклы**

Совместная выработка электроэнергии и теплоты для технологических процессов, для обеспечения населения отоплением и горячим водоснабжением. Теплофикационный цикл ПТУ с противодавлением. Теплофикационный цикл с отборами пара. Отопительный коэффициент и удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении. Расчет удельных расходов топлива при комбинированной выработке теплоты и электроэнергии.

### **16. Циклы АЭС**

Принципиальная схема атомной электростанции с реактором ВВЭР.

Циклы атомных станций с водяным теплоносителем. Цикл насыщенного пара с промежуточной сепарацией. Цикл с сепарацией и перегревом пара.

### **17. Циклы ГТУ и ДВС**

Процессы сжатия газов в  $P$ ,  $v$  и  $T$ ,  $s$  – диаграммах. Необратимое адиабатное сжатие в компрессоре. Работа охлаждаемого одноступенчатого компрессора. Многоступенчатый компрессор. Процессы сжатия рабочего тела в поршневых компрессорах с межступенчатым охлаждением в  $P$ ,  $v$  и  $T$ ,  $s$  – диаграммах. Соотношение для определения оптимального перепада давлений между ступенями компрессора. Процессы сжатия рабочего тела в поршневых компрессорах с охлаждением цилиндра в  $P$ ,  $v$  и  $T$ ,  $s$  – диаграммах. Затраченная работа. Отведенная теплота.

Цикл ДВС с изохорным подводом теплоты. Цикл ДВС с комбинированным подводом теплоты. Цикл ДВС с изобарным подводом теплоты. Термический КПД и удельная работа.

Сравнение циклов ДВС с изохорным, изобарным и комбинированным подводом теплоты.

Принцип работы эжектора и  $h$ ,  $s$  – диаграмма процессов.

Теоретический цикл и схема ГТУ. Влияние параметров рабочего тела на КПД и мощность ГТУ. Цикл и схема ГТУ с внутренними потерями в турбомашине. Влияние параметров рабочего тела на КПД и мощность ГТУ. Теоретический цикл ГТУ с многоступенчатым сжатием и расширением газа. Влияние параметров цикла на термический КПД и мощность ГТУ. Цикл и схема ГТУ с 3-х ступенчатым сжатием, 2-х ступенчатым расширением и предельной регенерацией. Термический КПД и мощность ГТУ. Теоретический регенеративный цикл ГТУ. Зависимость термического КПД от температур  $T_2$  и  $T_4$  для циклов ГТУ с различной степенью регенерации.

### **18. Циклы парогазовых установок**

Бинарный парогазовый цикл с газо-водяным подогревателем. Бинарный парогазовый цикл с котлом-утилизатором. Термический КПД и мощность парогазовой установки.

### **19. Циклы холодильных и теплонасосных установок**

Принципиальная схема газовой холодильной установки. Теоретический и действительный цикл газовой холодильной установки. Цикл и схема газовой холодильной установки с двухступенчатым сжатием рабочего тела в компрессорах. Цикл и схема парокомпрессионной холодильной установки. Цикл и схема регенеративной

парокомпрессионной холодильной установки. Термодинамические характеристики обратных циклов. Сравнение термодинамических характеристик циклов газовой и парожидкостной холодильных установок. Цикл и схема парокомпрессионного теплового насоса. Вычисление коэффициента преобразования теплоты и мощности приводного электродвигателя. Цикл и схема парокомпрессионного теплового насоса на диоксиде углерода. Коэффициент преобразования теплоты и коэффициент совместного использования теплоты и холода. Цикл и схема парокомпрессионного теплового насоса. Вычисление коэффициента преобразования теплоты и эксергетического КПД при комбинированной выработке теплоты и холода.

## **5. Образовательные технологии**

1. Метод IT
2. Работа в команде
3. Проблемное обучение
4. Обучение на основе опыта
5. Индивидуальное обучение
6. Междисциплинарное обучение
7. Опережающая самостоятельная работа

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

Самостоятельная работа студентов направлена на решение следующих задач:

- 1) выработка навыков самостоятельного творческого подхода к выбору и оценке свойств материалов, проявленных в конкретных случаях практической деятельности;
- 2) формирование культуры профессионального мышления;
- 3) пробуждение способности к мотивации применяемых решений в профессиональной деятельности;
- 4) выработка способности моделировать экспериментальные исследования, связанные с материалами;
- 5) приобретение навыков быстрого поиска, нахождения и анализа информации.

Одним из видов самостоятельной работы студентов является осмысленное написание тематических обзоров, рефератов по найденным источникам.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебно-методическая литература имеется в библиотечном фонде Института в количестве не менее 0.25 экземпляра на студента. По ряду общепрофессиональных и специальных дисциплин обеспеченность литературой превышает 1 экз. на человека. Практически по всем учебным дисциплинам профиля разработаны или разрабатываются собственные учебно-методические материалы, учебные пособия. Студенты могут пользоваться не только печатными, но и электронными версиями учебных пособий и других учебно-методических материалов, которые выставлены на сайтах университета и выпускающей кафедры. Разработаны и имеются в свободном доступе методические материалы по практике, выполнению курсовых проектов, квалификационных работ бакалавров.

Всем обучающимся обеспечен доступ к современным профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам через Интернет в компьютерных классах библиотеки и кафедр.



## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Номер аудит ории	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий, объектов физической культуры и спорта с перечнем основного оборудования	Адрес (местоположение) учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий, объектов физической культуры и спорта (с указанием номера помещения в соответствии с документами бюро технической инвентаризации)	Собственность или иное вещное право (оперативное управление, хозяйственное ведение), аренда, субаренда, безвозмездное пользование	Документ - основание возникновения права (указываются реквизиты и сроки действия)
212	<p>Каб. 212 аудитория - лаборатория Доска 5-поверх. Аудит, 1 шт. Жалюзи, 4 ед. Проектор EPSON, 1 шт Парты ученические, 23 шт. Стулья ученические, 42 ед. Стол письменный, 1 ед. Экран настенный 155x155, 1 ед. Персональный компьютер монитор «Beng» (монитор, клавиатура, мышь, системный блок), 1 ед. Планшеты, 2 ед. Датчик температуры BENECO, 1 ед. Лампа над доской аудит, 1 ед. Стенд лабораторный «Электроэнергетика», 1 ед. Лабораторные столы, 5 шт.</p>	<p>628600, Тюменская область, Ханты-Мансийский автономный округ - Югра, город Нижневартовск, Западный промышленный узел, панель 14, ул. Индустриальная, дом 46.</p>	<p>Оперативное управление</p>	<p>Свидетельство о государственной регистрации права оперативного управления №86-АБ 715697 от 30.01.2014г. Срок действия – бессрочно</p>



Частное образовательное учреждение высшего образования  
«Академический институт прикладной энергетики»

**Фонд оценочных средств дисциплины (модуля)**

**Б.3.Б.7 «Техническая термодинамика»**

**3, 4 курс**

Вид образования:	Профессиональное образование
Уровень образования:	Высшее образование - бакалавриат
Квалификация выпускника:	Бакалавр
Направление подготовки:	<b>13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»</b>
Направленность (профиль) образовательной программы:	<b>«Энергообеспечение предприятий»</b>
Тип образовательной программы:	Программа академического бакалавриата
Форма обучения:	Заочная
Срок освоения образовательной программы:	5 лет

Частное образовательное учреждение высшего образования  
«Академический институт прикладной энергетики»

Контрольные вопросы к зачету, экзамену  
по дисциплине **Б.3.Б.7 «Техническая термодинамика»**

для студентов 3,4 курса  
по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника»  
профиль «Энергообеспечение предприятий»

1. Укажите основные задачи, которые решает техническая термодинамика и ее место в теплоэнергетике.
2. Дайте понятие о термодинамической системе и ее классификацию (по физическим свойствам веществ и взаимодействию с внешней средой).
3. Дайте понятие термодинамических параметров состояния. Дайте определение основных термических параметров:  $v$ ,  $p$ ,  $T$  и их размерности.
4. Дайте понятие равновесного и неравновесного состояния тел и систем. Напишите уравнение состояния гомогенного тела в явном и неявном виде. Дайте понятие изопотенциальной поверхности.
5. Дайте понятия: термодинамического процесса, процессов обратимых и необратимых и их примеры с пояснением в  $P, v$ - и  $T, s$ - диаграммах.
6. Дайте понятие работы изменения объема, приведите ее расчетное выражение для обратимого и необратимого процессов, покажите ее графическое изображение в  $p, v$ - и  $T, s$ - диаграммах для обратимого процесса идеального газа.
7. Дайте термодинамическое понятие теплоты и ее графическое изображение в  $T, s$ - и  $p, v$ - координатах для политропного процесса идеальных газов с  $n=0$ .
8. Дайте понятие внутренней энергии и приведите ее изображение в  $p, v$ - и  $T, s$ - диаграммах для политропного процесса идеального газа с  $n=\pm \infty$ .
9. Дайте формулировку первого закона термодинамики для тела и напишите его аналитическое выражение для обратимого процесса в дифференциальной и интегральной форме.
10. Напишите аналитическое выражение первого закона термодинамики для необратимого процесса тела в дифференциальном виде.
11. Дайте аналитические выражения для совмещенного уравнения первого и второго законов термодинамики в дифференциальном виде для тела с использованием  $u$  и  $h$ .
12. Дайте понятие энтальпии, поясните ее физический смысл и практическую целесообразность введения этого параметра.

13. Дайте понятие энтропии и покажите ее связь с понятием обобщенной работы. Докажите принадлежность энтропии реальных веществ к параметрам состояния.
14. Напишите уравнения состояния идеальных газов для одного киломоля, одного килограмма и произвольного количества газа массой  $m$  кг.
15. Поясните особенности внутренней энергии идеальных газов и способы ее расчета. Покажите в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах области положительного и отрицательного изменения  $du$  от данной точки процесса.
16. Поясните особенности энтальпии идеальных газов и способы ее расчета. Покажите в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах области положительного и отрицательного изменения  $dh$  от данной точки процесса.
17. Докажите, что энтропия идеальных газов есть параметр состояния. Выведите одно из аналитических выражений для ее расчета.
18. Дайте определение теплоемкости газов и сделайте классификацию теплоемкостей, практически используемых, по их видам.
19. Приведите основные расчетные выражения всех изобарных и изохорных удельных теплоемкостей идеальных газов. Напишите Формулу Майера и выражение коэффициента Пуассона.
20. Приведите основные характеристики для смеси газов и дайте аналитические выражения для расчета газовой постоянной и молекулярной массы смеси идеальных газов.
21. Дайте аналитические выражения для определения удельных теплоемкостей смеси газов:  $c$ ,  $c'$ ,  $c_{\mu}$  и коэффициента Пуассона смеси идеальных газов.
22. Дайте понятие политропного процесса для газов и приведите основные величины, характеризующие закономерности в политропных процессах идеальных газов.
23. Дайте основные аналитические выражения для определения термических параметров и изменения энтропии в политропном процессе идеального газа.
24. Выведите аналитические выражения для определения  $q$ ,  $l$ ,  $\Delta u$  в политропном процессе идеальных газов.
25. Поясните принцип изображения политропных процессов идеальных газов в  $T,s$ - диаграмме и представление в ней  $q$ ,  $c$ ,  $l$  для данных процессов.
26. Сделайте анализ  $q$ ,  $l$ ,  $\Delta u$  для политропного процесса идеальных газов с  $n=1,2$  по его представлению в  $p,v$ - и  $T,s$ - координатах.
27. Изобразите в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграмме обратимый политропный процесс идеального двухатомного газа с  $n=1,3$  и покажите в этих диаграммах теплоту этого процесса.
28. Изобразите обратимый политропный процесс идеального двухатомного газа с  $n=1,2$  в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах и покажите работу изменения объема этого процесса в данных диаграммах.

29. Дайте графическое представление и анализ  $\Delta u$  в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах для политропного процесса идеальных газов.
30. Поясните, чем обусловлена зависимость изобарной и изохорной теплоемкостей идеальных газов от температуры. Приведите методику их расчета и определения в таблицах термодинамических свойств газов (метод. указания № 2095).
31. Поясните, чем обусловлена зависимость внутренней энергии идеального газа от температуры и методику ее расчета и определения в таблицах термодинамических свойств газов (метод. указания № 2095).
32. Поясните, чем обусловлена зависимость энтальпии идеального газа от температуры и методику ее расчета и определения в таблицах термодинамических свойств газов (метод. указания № 2095).
33. Поясните методику расчета и определение изменения энтропии идеального газа при наличии зависимости изобарной и изохорной теплоемкости идеального газа от температуры в таблицах термодинамических свойств газов (метод. указания № 2095).
34. Поясните принцип построения таблиц термодинамических свойств газов (метод. указания № 2095) и дайте пример их использования для расчета адиабатного процесса расширения идеального газа.
35. Поясните принцип построения таблиц термодинамических свойств газов (метод. указания № 2095) и дайте пример их использования для расчета изобарного процесса расширения идеального газа.
36. Поясните, чем обусловлены отличия свойств реальных газов от идеальных. Приведите изображение  $t=\text{const}$  для реальных веществ в  $p,v$ - диаграмме от области газа до области жидкости и поясните, чем обусловлен ее характер в каждом фазовом состоянии.
37. Поясните отличие свойств идеальных и реальных газов, используя понятие их изотермической сжимаемости с иллюстрацией в  $p,v$ - и  $p_v,p$ - диаграммах изотерм идеального и реального газа. Покажите точку Бойля и кривую Бойля, пояснив их назначение в  $p_v,p$ - диаграмме.
38. Дайте понятие критических параметров и поясните особенности фазовых переходов веществ при докритических и сверхкритических параметрах с их иллюстрацией в  $p,t$ -,  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах.
39. Поясните, какая существует взаимосвязь параметров реальных газов и паров и способы определения этой взаимосвязи для термических и энергетических параметров состояния.
40. Дайте понятие состояния насыщения для воды и пара, поясните определения фазовых состояний  $H_2O$ : вода в состоянии насыщения, влажный насыщенный пар, сухой насыщенный пар.
41. Нарисуйте фазовую диаграмму  $p,t$ - для  $H_2O$ . Дайте понятия тройной точки воды и приведите ее основные параметры состояния:  $p_0$ ,  $t_0$ ,  $v_0'$ ,  $u_0'$ ,  $h_0'$ ,  $s_0'$ .

42. Поясните аномальные свойства воды на примере изображения изотермы  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в  $p,v$ -диаграмме во всех ее фазовых состояниях.
43. Поясните аномальность свойств воды на примере ее фазовой диаграммы  $T,s$ - для всех возможных состояний.
44. Изобразите и поясните фазовую диаграмму  $p,v$ - для воды и водяного пара. Покажите аномальные свойства воды на  $x=0$  в этой диаграмме.
45. Дайте изображение фазовой диаграммы  $T,s$ - для  $\text{H}_2\text{O}$ . Поясните принцип ее построения и ее аномальность в области  $T < 273,16\text{ K}$ .
46. Дайте методику определения термодинамических свойств воды на линии фазового перехода  $x=0$ :  $u'$ ,  $h'$ ,  $s'$ .
47. Дайте понятия влажного насыщенного водяного пара, степени сухости и влажности пара. Поясните принцип определение параметров влажного насыщенного пара:  $p$ ,  $t$ ,  $v$ ,  $h$ ,  $s$ ,  $u$ .
48. Дайте определение удельной теплоты парообразования для  $\text{H}_2\text{O}$  и покажите эту величину в  $T,s$ - диаграмме. Поясните, на что расходуется эта теплота при данном фазовом переходе.
49. Объясните характер пограничной кривой  $x=1$  в  $h,s$ - диаграмме, проанализировав  $h''$  с точки зрения изменения  $g$  и  $q'$  в зависимости от температуры насыщения водяного пара.
50. Дайте понятия: перегретый водяной пар и теплота перегрева пара. Поясните принцип определение параметров перегретого водяного пара:  $p$ ,  $t$ ,  $v$ ,  $h$ ,  $s$ ,  $u$ .
51. Покажите как изменяется теплоемкость  $c_p$  перегретого водяного пара в зависимости от температуры и давления при  $p < p_{\text{кр}}$  и  $p > p_{\text{кр}}$ .
52. Изобразите фазовую диаграмму  $h,s$ - для воды и водяного пара, дайте анализ характера изобары в  $h,s$ - диаграмме при  $p < p_{\text{кр}}$ .
53. Поясните принцип составления таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара I, II, III. Приведите примеры определения фазового состояния  $\text{H}_2\text{O}$  и недостающих ее параметров по двум независимым параметрам состояния с использованием этих таблиц.
54. Поясните изображение изохоры  $v=\text{const}$  для  $\text{H}_2\text{O}$  в  $p,v$ -,  $T,s$ - и  $h,s$ - диаграммах.
55. Дайте изображение адиабаты ( $dq=0$ ) для  $\text{H}_2\text{O}$  в  $p,v$ -,  $T,s$ -,  $h,s$ - диаграммах и покажите области возможного ее прохождения в зависимости от численного значения  $s$ .
56. Покажите изображение изотермы  $T=\text{const}$  для  $\text{H}_2\text{O}$  в  $p,v$ -,  $T,s$ - и  $h,s$ - фазовых диаграммах воды и водяного пара при  $T < T_{\text{кр}}$  и поясните ее характер для каждой области: в области жидкости, влажного насыщенного пара и перегретого пара.
57. Проведите анализ характера изобары для  $\text{H}_2\text{O}$  при ее изображении в  $T,s$ - диаграмме при  $p < p_{\text{кр}}$  (поясните чем обусловлен вид  $p=\text{const}$  в каждой фазовой области).

58. Дайте названия основных состояний влажного воздуха и качественную оценку их характеристик:  $\phi$ ,  $R_p$ , фазовое состояние  $H_2O$  в воздухе и потенциальную возможность воздуха по испарению воды.
59. Дайте определения абсолютной и относительной влажности воздуха. Напишите расчетное выражение для относительной влажности атмосферного воздуха, поясните в каких пределах она изменяется, и от каких параметров и величин она зависит.
60. Проведите анализ плотности влажного атмосферного воздуха по сравнению с сухим воздухом.
61. Дайте определение для влагосодержания воздуха и выведите его расчетное уравнение для влажного атмосферного воздуха. Проанализируйте зависимость влагосодержания от температуры и относительной влажности воздуха.
62. Дайте определение температуры точки росы влажного воздуха с ее иллюстрацией в  $p, v$ - диаграмме для  $H_2O$ . Поясните методику определения  $t_{\text{росы}}$  по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара и по  $H, d$ - диаграмме влажного атмосферного воздуха.
63. Дайте понятие абсолютной влажности воздуха и поясните методику ее определения с иллюстрацией в  $p, v$ - диаграмме для воды и водяного пара величин, необходимых для ее расчета.
64. Поясните принцип построения  $\phi = \text{const}$  для влажного атмосферного воздуха в  $H, d$ - диаграмме и ее особенности при  $t > 100$  °C.
65. Выведите аналитическое выражение для энтальпии влажного воздуха  $H$  в кДж/(кг сух. возд.) с учетом всех возможных фазовых состояний воды в нем. Поясните, какие требования предъявляются к энтальпиям воздуха и  $H_2O$  в этом уравнении.
66. Приведите выражение для расчета энтальпии влажного *атмосферного* воздуха с учетом всех возможных фазовых состояний воды в нем. Поясните, чем представлены удельные энтальпии сухого воздуха, водяного пара, жидкости и льда в этом выражении.
67. Покажите в  $H, d$ - диаграмме влажного атмосферного воздуха точку, соответствующую ненасыщенному воздуху, и определите для нее величины:  $\phi$ ,  $p_p$ ,  $d_p$ ,  $t_{\text{росы}}$ ,  $H$ ,  $t_m$ ,  $t$ .
68. Поясните принцип построения изотерм  $t > 0$  °C для ненасыщенного атмосферного влажного воздуха в  $H, d$ - диаграмме.
69. Поясните характер изотерм  $t > 0$  °C для атмосферного влажного воздуха в области перенасыщенного влажного воздуха в  $H, d$ - диаграмме и принцип определения всех характеристик влажного воздуха на этих изотермах.
70. Покажите в  $H, d$ - диаграмме основные процессы влажного атмосферного воздуха: нагрев, охлаждение, сушка (идеальная и действительная). Поясните изменение параметров и характеристик воздуха в этих процессах.
71. Дайте определение прямого обратимого цикла Карно, изобразите его в  $T, S$ - диаграмме, напишите выражение его термического КПД и дайте сравнение КПД данного цикла с



термическим КПД любого другого обратимого цикла, имеющего такие же максимальную и минимальную температуры рабочего тела.

72. Дайте формулировки второго закона термодинамики на примере прямого обратимого цикла Карно (не менее трех) с графическим пояснением их в  $T,S$ - диаграмме.

73. Дайте понятия обратных циклов и поясните их практическое назначение, изобразив их в  $T,S$ - диаграммах. Дайте расчетные выражения показателей тепловой экономичности этих циклов с анализом возможных их численных значений. Приведите одну из формулировок второго закона термодинамики на примере обратного цикла.

74. Дайте определение обобщенного (регенеративного) цикла Карно, изобразите его в  $T,S$ - диаграмме и поясните его практическое значение. Докажите, что термический КПД этого цикла равен КПД простого цикла Карно, имеющего те же  $T_1$  и  $T_2$ .

75. Дайте понятие среднетермодинамической (среднеинтегральной) температуры и эквивалентного цикла Карно. Поясните практическое значение этих понятий.

76. Проведите сравнение изменения энтропии в замкнутой изолированной системе  $\Delta S_C$ , при прохождении в ней обратимых и реальных необратимых процессов теплообмена между двумя телами с постоянными температурами. Дайте одну из формулировок второго закона термодинамики на основании этого сравнения.

77. Дайте понятие эксергии и покажите в  $T,S$ - диаграмме эксергию источника теплоты с постоянной температурой.

78. Поясните влияние необратимости при теплообмене между телами с постоянными температурами на максимально-возможную полезную работу – эксергию в замкнутой изолированной системе, проиллюстрировав данный вывод в  $T,S$ - диаграмме и показав работоспособность теоремы Гюи-Стодолы.