



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭиАС  
В.Р. Храмшин

13.02.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА***

Направление подготовки (специальность)  
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность (профиль/специализация) программы  
Энергообеспечение предприятий

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Теплотехнических и энергетических систем
Курс	2
Семестр	3, 4


Магнитогорск  
2024 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры  
Теплотехнических и энергетических систем  
06.02.2024, протокол № 4

Зав. кафедрой  Е.Г. Нешпоренко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС  
13.02.2024 г. протокол № 4

Председатель  В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:  
ст. преподаватель кафедры ТиЭС,

 С.В. Матвеев

Рецензент:  
Зам. начальника ЦЭСТ ПАО "ММК",  
канд. техн. наук

 В.Н. Михайловский

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Теплотехнических и энергетических систем

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Е.Г. Нешпоренко

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

Целями освоения дисциплины (модуля) техническая термодинамика являются:

- изучение законов сохранения и превращения энергии, применительно к системам передачи и трансформации теплоты, в том числе при химических превращениях;
- освоение методики расчета термических и калорических свойств веществ, применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям, получение навыков работы с литературными и электронными базами данных по термодинамическим свойствам веществ;
- изучение основ термодинамического анализа рабочих процессов в теплосиловых, теплонасосных и холодильных машинах и методик анализа их энергетической эффективности.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Техническая термодинамика входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Математика

Информатика

Учебная - ознакомительная практика

Физика

Химия

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Гидрогазодинамика

Тепломассообмен

Нагнетатели в теплоэнергетике

Системы промышленного теплоснабжения

Теория горения и технологии сжигания

Паротурбинные установки

Газотурбинные и парогазовые установки

Курсовая научно-исследовательская работа

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Техническая термодинамика» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-4	Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
ОПК-4.1	Разрабатывает основные способы получения и преобразования теплоты в теплотехнических установках и системах
ОПК-4.2	Разрабатывает основные способы транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц 324 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 108 акад. часов;
- аудиторная – 106 акад. часов;
- внеаудиторная – 2 акад. часов;
- самостоятельная работа – 216 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет с оценкой, зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. 1. Раздел. Основы термодинамики								
1.1 Введение. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Основы термодинамики необратимых процессов. Дифференциальные уравнения термодинамики.	3	7	6	1	10	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями). Раздел 1 п. 6.2 1-25, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача лабораторных работ и практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
Итого по разделу		7	6	1	10			
2. 2. Раздел. Термодинамические свойства веществ. Основные термодинамические процессы.								
2.1 Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Термические и калорические свойства веществ. Термодинамические диаграммы состояния веществ. Водяной пар. Влажный воздух.	3	6	6	1	12	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями). Раздел 2 п. 6.2 1-4, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача лабораторных работ и практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2

2.2 Политропные процессы. Дросселирование. Адиабатное расширение реального газа в вакуум. Процессы смешения.		3	3	2	10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Раздел 2 п. 6.2 5, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача лабораторных работ и практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
2.3 Процессы сжатия в компрессоре.		2		2	10	Работа с электронными библиотеками. Раздел 2 п. 6.2 6-11, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
Итого по разделу		11	9	5	32			
Итого за семестр		36	18	18	106,1		зао	
3. 3. Раздел. Теплосиловые циклы								
3.1 Теплосиловые газовые циклы. ДВС, ГТУ, реактивные двигатели	3	4		2	10	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями ). Раздел 3 п. 6.2 1-7. П. 6.1. Решение 1РГР п.6.1.1, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
3.2 Теплосиловые паровые циклы. Карно, Ренкина, с промежуточным перегревом пара, регенеративный, бинарный, ПГУ, теплофикационный.		4		2	10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Решение РГР 2. Раздел 3 п. 6.2 8-29, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
3.3 Циклы прямого преобразования теплоты в электроэнергию.		0,5			10	Работа с электронными библиотеками. Раздел 3 п. 6.2 30-32, приложение 1.	Наличие конспектов лекций.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
3.4 Исследование эффективности теплосиловых паровых циклов: Карно для влажного пара, Ренкина, с перегревом пара, с промежуточным перегревом, с регенерацией, теплофикации.	4			18	60	Решение практических задач, приложение 1.	Сдача практических заданий	ОПК-4..1, ОПК-4..2

3.5 Расчет эффективности варианта с котлом-утилизатором, со сбросом в котел, с параллельной работой. Расчет эффективности варианта замкнутой ПГУ. Расчет эффективности варианта с полунезависимой схемой.			16	49,9	Решение практических задач, приложение 1.	Сдача практических заданий	ОПК-4..1, ОПК-4..2	
Итого по разделу		8,5		38	139,9			
Итого за семестр				34	109,9	зачёт		
4. 4. Раздел. Процессы течения газов и жидкостей.								
4.1 Основные уравнения процессов течения. Скорость звука. Истечение из суживающихся сопл	3	1	3	1	5,1	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Раздел 4 п. 6.2 1-4, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача лабораторных работ и практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
4.2 Переход через скорость звука. Сопло Лаваля.		1		1	3	Работа с электронными библиотеками. Раздел 4 п. 6.2 5-10, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
4.3 Адиабатное течение с трением. Температура адиабатного торможения		1		1	3	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями ). Раздел 4 п. 6.2 11-12, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
Итого по разделу		3	3	3	11,1			
5. 5. Раздел. Холодильные циклы								
5.1 Обратные тепловые циклы. Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки.	3	2,5		2	10	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями ). Раздел 5 п. 6.2 1-6, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2

5.2 Цикл парожетторной холодильной установки. Цикл абсорбционной холодильной установки.		2		2	6	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Раздел 5 п. 6.2 7-8, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
5.3 Цикл термоэлектрической холодильной установки. Принцип работы теплового насоса. Методы ожижения газов.		1		1	6	Работа с электронными библиотеками. Раздел 5 п. 6.2 9-11, приложение 1.	Наличие конспектов лекций, сдача практических заданий.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
Итого по разделу		5,5		5	22			
6. 6. Раздел. Химическая термодинамика								
6.1 Теплота образования веществ. Тепловой эффект сгорания	3	0,3			0,3	Поиск дополнительной информации по заданной теме (работа с библиографическим материалами, справочниками, каталогами, словарями, энциклопедиями ). Раздел 6 п. 6.2 1-2, приложение 1.	Наличие конспектов лекций.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
6.2 Химическое равновесие. Константы равновесия.		0,3			0,3	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. Расчет лабораторных работ. Раздел 6 п. 6.2 3-4, приложение 1.	Наличие конспектов лекций.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
6.3 Расчеты температуры горения топлив. Статический теплообмен.		0,4			0,4	Работа с электронными библиотеками. Раздел 6 п. 6.2 5-6, приложение 1	Наличие конспектов лекций.	ОПК-4..1, ОПК-4..2
Итого по разделу		1			1			
Итого за семестр		36	18	18	106,1		зао	
Итого по дисциплине		36	18	52	216		зачет с оценкой, зачет	



## **5 Образовательные технологии**

Для решения предусмотренных видов учебной работы при изучении дисциплины «Техническая термодинамика» в качестве образовательных технологий используются как традиционные, так и модульно - компетентностные технологии:

Традиционные образовательные технологии ориентируются на организацию образовательного процесса, предполагающую прямую трансляцию знаний от преподавателя к студенту (преимущественно на основе объяснительно-иллюстративных методов обучения). Учебная деятельность студента носит в таких условиях, как правило, репродуктивный характер. Практическое занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов.

Информационные технологии – обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам, для чего при проведении отдельных занятий и организации самостоятельной работы студентов используются электронные версии курса лекций и расчетно-графической работы.

Работа в команде – совместная деятельность студентов в группе при расчетах на практических и лабораторных занятиях, направленная на решение общей задачи путем сложения результатов индивидуальной работы членов группы.

Case-study - анализ реальных проблемных ситуаций, имевших место в соответствующей области профессиональной деятельности, и поиск вариантов лучших решений.

Междисциплинарное обучение – использование знаний из разных областей и их группировка в контексте решаемой задачи.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

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

### **а) Основная литература:**

1. Цирельман, Н. М. Техническая термодинамика : учебное пособие / Н. М. Цирельман. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-3063-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169245>

2. Шитик, Т. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебное пособие / Т. В. Шитик. - Москва : Инфра-Инженерия, 2022. - 184 с. - ISBN 978-5-9729-1087-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785972910878.html>

### **б) Дополнительная литература:**

1. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок : учебное пособие для вузов / А. А. Александров - Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. - ISBN 978-5-383-00961-1. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009611.html>

2. Барилевич, В. А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена : учебное пособие / В.А. Барилевич, Ю.А. Смирнов. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 432 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). —

www.dx.doi.org/10.12737/3292. - ISBN 978-5-16-005771-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1741366>

3. Пинтя, Т. Н. Техническая термодинамика: конспект лекций : учебное пособие / Т. Н. Пинтя. - Магнитогорск : МГТУ, 2012. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/20> (дата обращения: 05.09.2023). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

**в) Методические указания:**

1. Пинтя, Т. Н. Экспериментальное исследование процессов термодинамики. Лабораторный практикум : учебное пособие / Т. Н. Пинтя ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2013. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/260> (дата обращения: 05.09.2023). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MathCAD v.15 Education University Edition	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Linux Calculate	свободно распространяемое ПО	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Архив научных журналов «Национальный электронно-информационный концорциум» (НП НЭИКОН)	<a href="https://arch.neicon.ru/xmlui/">https://arch.neicon.ru/xmlui/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://host.megaprolib.net/MP0109/Web">https://host.megaprolib.net/MP0109/Web</a>
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/</a>
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа:

- доска, мел.

Учебная аудитория для проведения лабораторных работ:

лаборатория термодинамики: комплекс лабораторных установок по технической термодинамике, ЛАТР, ротационные насосы.

Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: - доска, мел.

Учебные аудитории для самостоятельной работы обучающихся:

- персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования:

-стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования, инструменты для ремонта лабораторного оборудования.

## 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

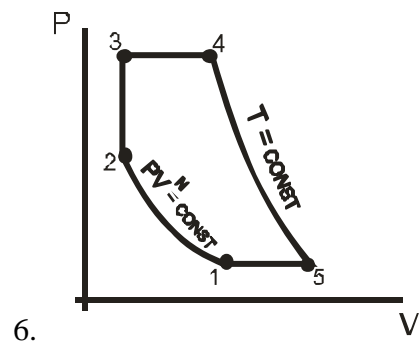
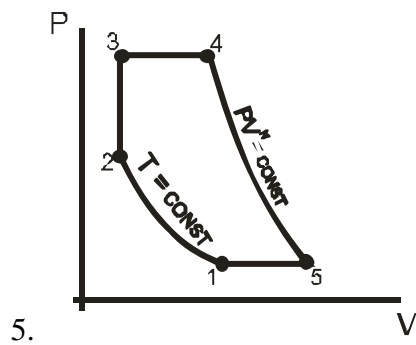
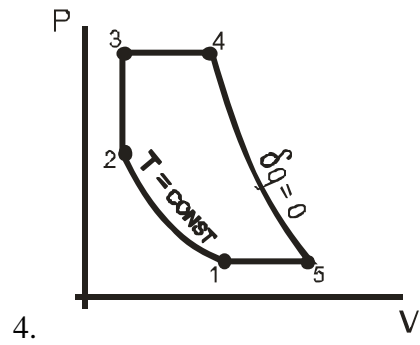
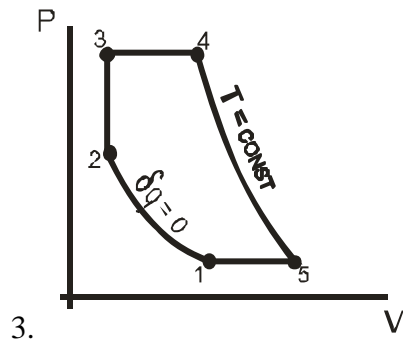
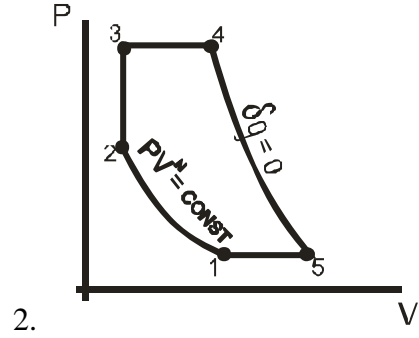
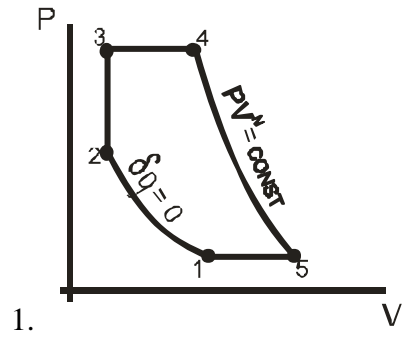
### 6.1 Оценочные средства для проведения текущего *контроля успеваемости*

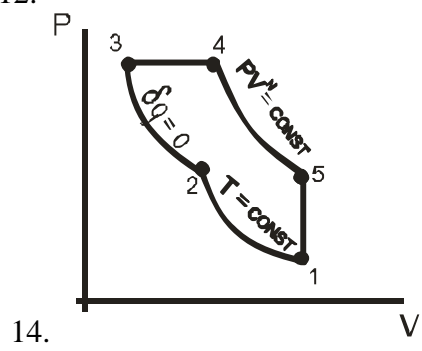
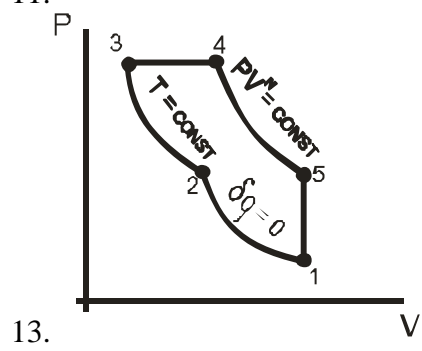
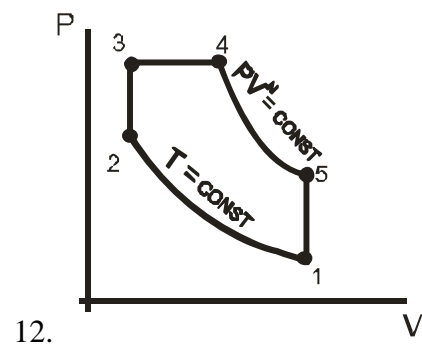
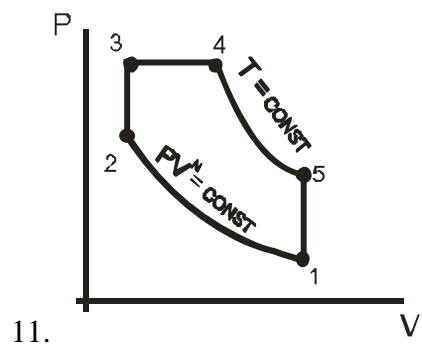
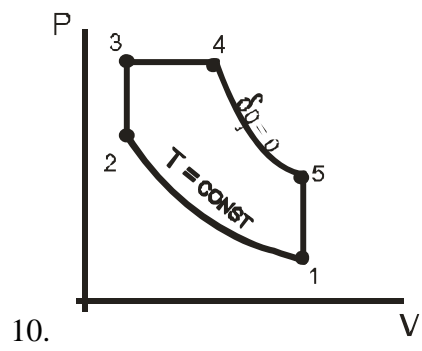
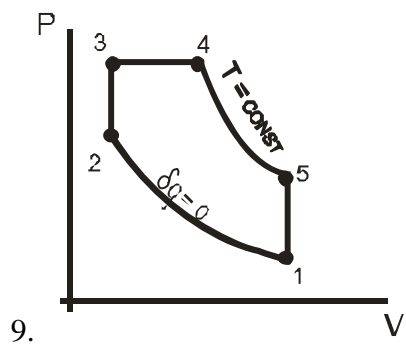
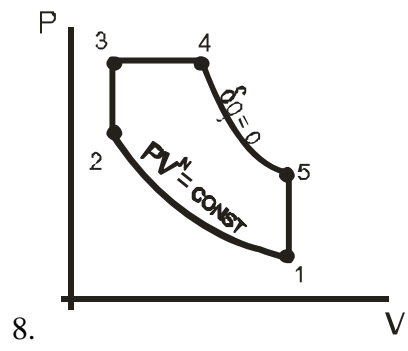
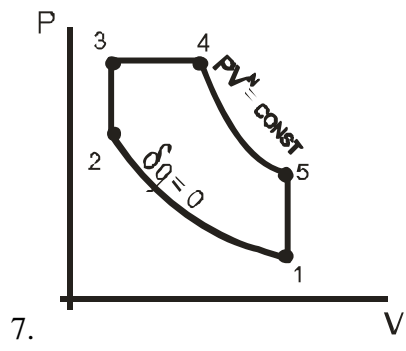
6.2.1 Задания для выполнения РГР – 1. Выполнить термодинамический расчет цикла теплового двигателя. Определить параметры в характерных точках, полезную работу и КПД цикла.

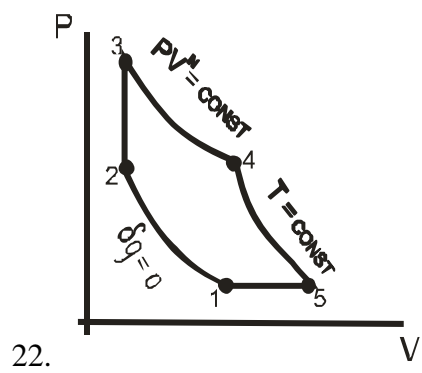
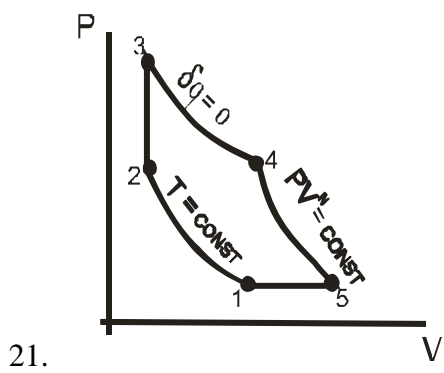
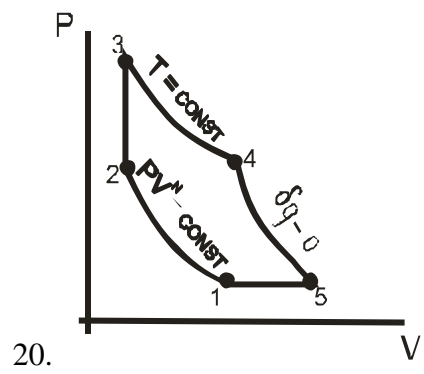
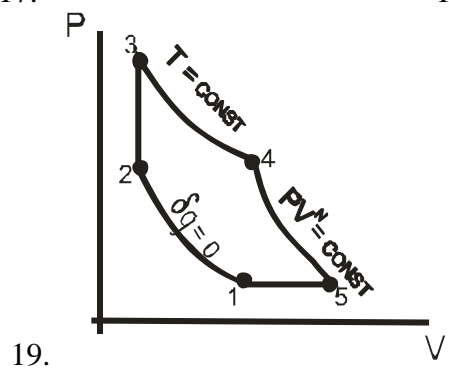
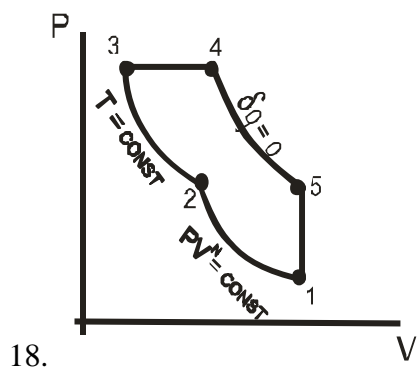
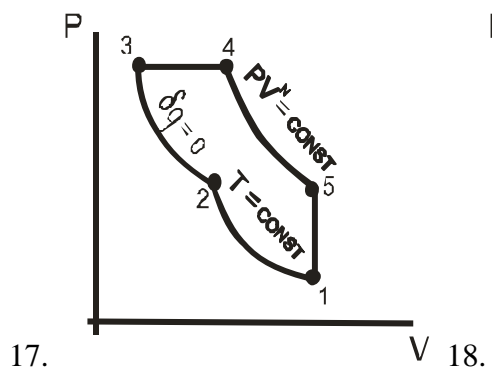
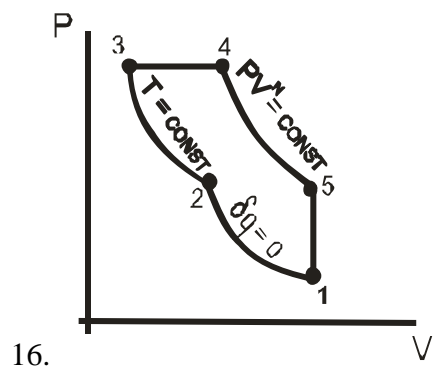
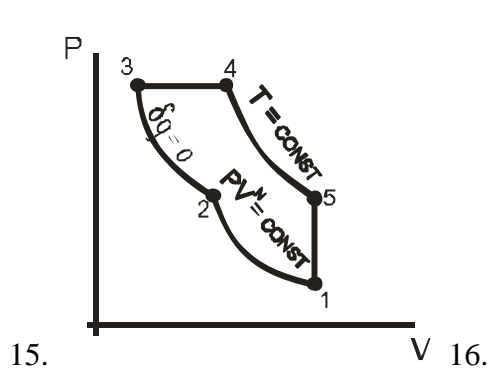
Исходные данные к РГР-1:									
№ вар.	$P_1$ , МПа	$t_1$ , °C	$\frac{V_1}{V_2}$	$\frac{P_3}{P_2}$	$\frac{V_4}{V_3}$	n	$\eta_{oi}^{расш}$	$\eta_{oi}^{сжатая}$	рабочее тело
1	1,5	25	3,0	1,8	1,6	1,25	0,97	0,93	воздух
2	1,0	20	2,9	1,7	1,6	1,27	0,98	0,92	азот
3	0,8	17	2,8	2,0	1,7	1,26	0,95	0,90	кислород
4	0,6	22	3,2	2,0	1,8	1,30	0,94	0,87	СО
5	0,9	18	3,1	2,2	1,6	1,27	0,93	0,86	СО <sub>2</sub>
6	1,2	20	2,8	1,7	1,7	1,25	0,92	0,84	воздух
7	1,0	25	3,0	2,0	1,6	1,24	0,89	0,81	азот
8	0,9	23	2,7	1,6	1,7	1,28	0,93	0,87	азот атмосферный
9	1,3	20	3,2	1,7	1,5	1,29	0,94	0,89	кислород
10	1,2	24	3,0	1,6	1,6	1,24	0,93	0,86	СО
11	0,8	22	2,7	1,8	1,7	1,26	0,95	0,89	СО <sub>2</sub>
12	0,5	27	3,0	1,6	1,8	1,27	0,97	0,92	воздух
13	0,7	21	3,2	1,8	1,6	1,29	0,95	0,90	азот
14	0,6	24	3,5	1,6	1,9	1,27	0,94	0,87	кислород
15	0,8	22	3,2	1,8	1,7	1,26	0,96	0,90	СО
16	1,2	20	4,0	1,7	1,6	1,25	0,97	0,92	СО <sub>2</sub>
17	1,0	18	3,7	1,8	1,6	1,27	0,96	0,90	азот атмосферный
18	0,9	20	3,5	1,7	1,7	1,28	0,95	0,89	воздух
19	0,95	21	3,4	1,8	1,6	1,26	0,94	0,88	азот
20	1,2	18	3,7	1,6	1,7	1,25	0,96	0,92	кислород
21	1,5	20	3,0	1,8	1,7	1,26	0,95	0,90	СО
22	1,3	22	2,9	1,7	1,9	1,27	0,97	0,91	СО <sub>2</sub>
23	1,2	23	3,2	1,8	1,7	1,29	0,93	0,85	воздух
24	1,0	22	3,1	1,9	1,7	1,28	0,94	0,87	азот
25	1,0	24	3,4	1,8	1,9	1,27	0,95	0,88	кислород

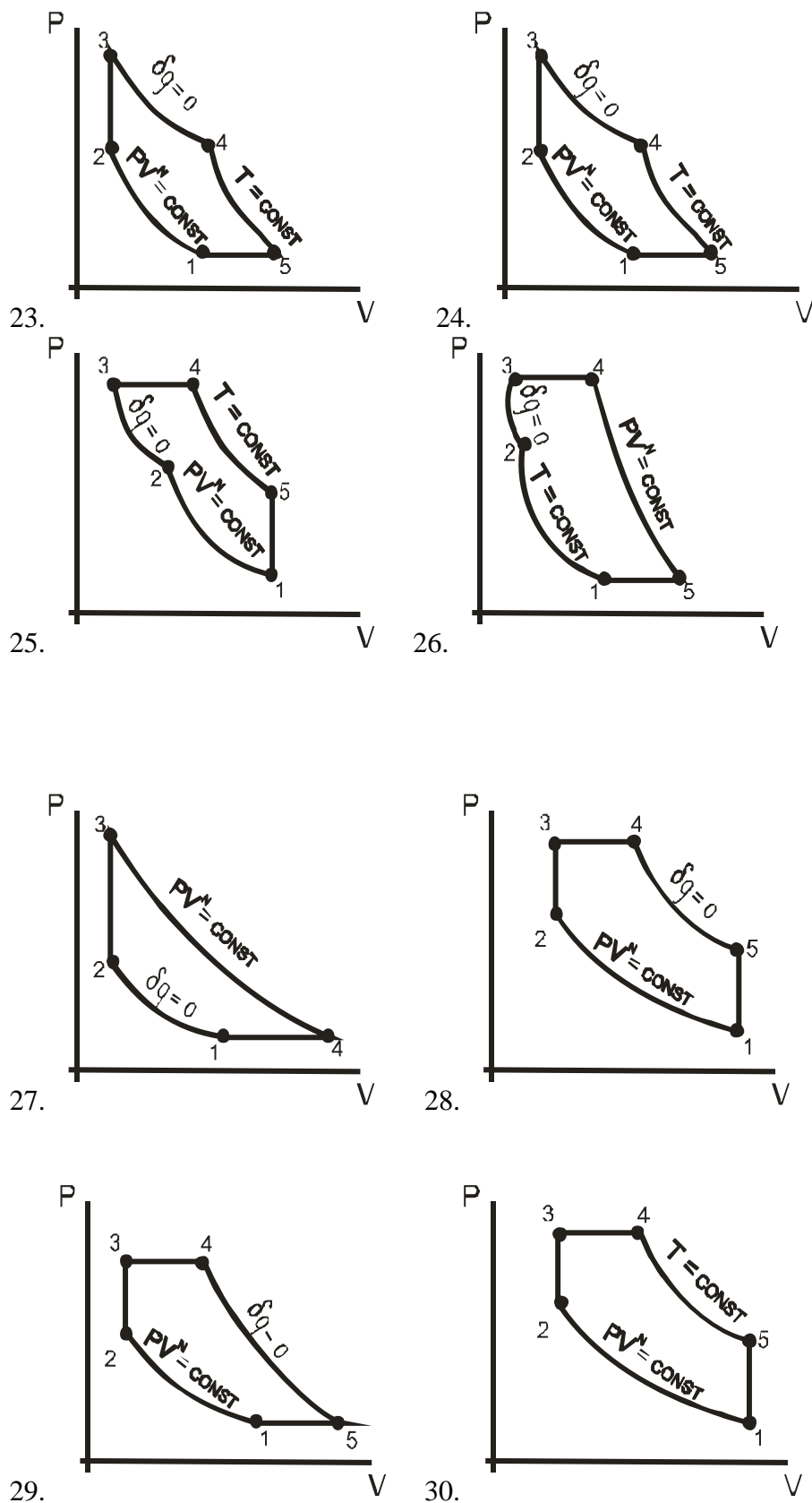
26	1,2	25	3,2	1,7	1,7	1,28	0,94	0,87	СО
27	1,4	18	3,0	1,8	1,7	1,30	0,95	0,82	СО <sub>2</sub>
28	1,1	25	3,1	1,6	1,5	1,28	0,89	0,80	азот атмосферный
29	1,05	22	2,97	1,8	1,6	1,26	0,92	0,83	воздух
30	0,75	19	2,70	1,6	1,6	1,25	0,92	0,80	азот атмосферный

Цикл теплового двигателя (по вариантам):









## 6.2.2. Задания для выполнения РГР – 2:

### Задача 1

К паровой турбине пар поступает с параметрами  $P_1$ ,  $t_1$ . После адиабатного расширения пара в первой ступени до температуры  $T_a$ , он направляется в



промежуточный подогреватель, где при постоянном давлении его температура повышается до  $T_b$ . Затем пар расширяется в последующих ступенях турбины до давления  $P_2$  в конденсаторе. Относительный внутренний КПД турбины  $\eta_{oi}$ , насоса  $\eta_{oi}$ . Определить:

1. Параметры рабочего тела в характерных точках цикла (свести в таблицу);
2. Теоретические и действительные работы турбины, насоса и цикла в целом;
3. Термический и абсолютный внутренний КПД цикла с вторичным перегревом и без него (цикла Ренкина);
4. На сколько уменьшится влажность пара на выходе из турбины по сравнению с циклом Ренкина;
5. Каковы среднеинтегральные температуры подвода и отвода теплоты в цикле с вторичным перегревом и без него;

Построить на  $P - v$ ,  $T - s$ ,  $h - s$  диаграммах (в масштабе) идеальный и действительный цикл с промежуточным перегревом и без него.

#### Исходные данные:

Параметры	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Давление пара перед турбиной, $P_1$ , МПа	17	15	13	11	10	12	9	13	14	9
Температура пара перед турбиной, $t_1$ , °C	550	560	540	570	560	510	540	550	560	520
Температура пара перед промежуточным перегревом, $t_a$ , °C	300	320	370	380	350	420	310	320	340	330
Температура пара перед второй ступенью турбины, $t_b$ , °C	530	540	520	550	580	560	530	540	530	520
Давление пара на выходе из турбины $P_2$ , МПа	0,003				0,0035			0,004		0,003
Относительный внутренний КПД:										
турбины $\eta_{oi}^T$	0,86	0,88	0,90	0,87	0,86	0,85	0,91	0,94	0,95	0,92
насоса $\eta_{oi}^H$	0,82	0,85	0,86	0,84	0,83	0,82	0,88	0,87	0,90	0,84

#### Задача 2

В паровую турбину поступает пар с параметрами  $P_1, t_1$ .

Турбина имеет два регенеративных отбора в подогреватели поверхностного типа с каскадным сбросом конденсата греющего пара. Давление отборов  $P_{01}$  и  $P_{02}$ . Давление в конденсаторе  $P_2$ . Относительный внутренний КПД турбины  $\eta_{oi}$ ,

Определить:

1. Параметры рабочего тела в характерных точках цикла (свести в таблицу);
2. Теоретическую и действительную работу турбины (цикла);
3. Термический и абсолютный внутренний КПД цикла с регенерацией и без нее (цикл Ренкина);
4. Экономия за счет введения регенеративного подогрева;
5. Каковы среднеинтегральные температуры подвода и отвода теплоты в цикле с регенерацией и без нее;

Построить на  $P - v$ ,  $T - s$ ,  $h - s$  диаграммах (в масштабе) идеальный и действительный циклы ПТУ с регенерацией.

#### Исходные данные:

Параметры	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Давление пара перед турбиной $P_1$ , МПа	15	17	10	8	12	9	12	10	11	9
Температура пара перед турбиной $t_1$ , °С	520	560	500	450	510	480	530	540	550	490
Давление пара в первом отборе $P_{01}$ , МПа	0,7	0,5	0,6	0,8	0,4	0,5	0,6	0,9	0,7	1,2
Давление пара во втором отборе $P_{02}$ , МПа	0,12	0,14	0,15	0,11	0,15	0,13	0,10	0,20	0,16	0,3
Давление пара на выходе из турбины $P_2$ , МПа	0,003		0,0035				0,004			
Относительный внутренний КПД турбины $\eta_{oi}$	0,87	0,85	0,89	0,91	0,90	0,94	0,88	0,93	0,92	0,92

### Задача 3

На ТЭЦ установлена турбина, в которой работает пар с начальными параметрами  $P_1, t_1$ . Турбина имеет два отбора. Первый

– производственный при давлении  $P_{01}$ , расход пара –  $D_{01}$ . Второй – теплофикационный при давлении  $P_{02}$ , расход пара  $D_{02}$ . Давление в конденсаторе  $P_2$ . Мощность турбины  $N$ ,

Температура питательной воды  $t_{п.в.}$  Относительный внутренний КПД турбины  $\eta_{oi}$ .

Определить:

1. Параметры рабочего тела в характерных точках цикла (свести в таблицу);
2. Теоретическую и действительную работу турбины (цикла);
3. Расход пара в конденсаторе;
4. Количество теплоты на производственные и теплофикационные нужды;
5. Теоретический и действительный коэффициент использования теплоты;

Построить на  $P - v$ ,  $T - s$ ,  $h - s$  диаграммах (в масштабе) идеальный и действительный цикл ТЭЦ.

### Исходные данные:

Параметры	Вариант										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Давление пара перед турбиной $P_1$ , МПа	5	7	10	12	15	18	9	11	14	6	
Температура пара перед турбиной $t_1$ , °C	470	510	540	550	560	570	520	530	550	560	
Давление пара в первом отборе $P_{01}$ , МПа	1	2	1,5	2	2,5	2,5	1	2	2,5	1,8	
Давление пара во втором отборе $P_{02}$ , МПа	0,15	0,18	0,20	0,25	0,20	0,30	0,15	0,17	0,20	0,5	
Расход пара в первом отборе $D_{01}$ , т / ч	20	15	18	25	30	35	16	14	10	20	
Расход пара во втором отборе $D_{02}$ , т / ч	45	40	35	15	20	25	30	36	24	25	
Давление пара на выходе из турбины $P_2$ , МПа	0,003		0,0035				0,004				
Мощность турбины $N$ , МВт	15		25	30	35	45	40	35	30	40	18
Температура питательной воды, C	130		125	140	130	150	125	130	145	135	120
Относительный внутренний КПД турбины	0,85	0,86	0,82	0,84	0,88	0,83	0,90	0,92	0,89	0,93	

### 6.2. Перечень вопросов для самостоятельной работы обучающихся

## Раздел 1:

1. Дайте определение идеального газа.
2. Что такое термодинамическая система? Какая система называется закрытой, открытой, замкнутой, адиабатной?
3. Что такое уравнение состояния? Написать уравнение состояния идеального газа.
4. Что такое термодинамический процесс? Объяснить понятия равновесный и неравновесный процессы.
5. Что такое теплота? Единицы измерения.
6. Что такое работа? Единицы измерения.
7. Объяснить сходство и различие между теплотой и работой. Можно ли их назвать энергиями?
8. Что такое внутренняя энергия? Функцией чего она является и как может быть вычислена? Свойства внутренней энергии.
9. Что такое энтальпия газа? Как она связана с внутренней энергией? Физический смысл энтальпии. Функцией чего она является? Объяснить ее свойства.
10. Как изображаются работа расширения и располагаемая работа на диаграмме состояния в P-v координатах?
11. Что такое массовая, объемная, мольная теплоемкость? Изобарная и изохорная теплоемкость?
12. Почему изобарная теплоемкость больше изохорной? Какая связь между ними?
13. От каких параметров зависит теплоемкость идеального газа? Как определяется изменение энтальпии и внутренней энергии идеального газа, если известны истинные и средние теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме?
14. Почему теплоемкость зависит от процесса? Дайте значения теплоемкостей для основных процессов изменения состояния.
15. Выведите уравнение Майера. Для какого газа оно справедливо? Физический смысл индивидуальной и универсальной газовой постоянной?
16. Напишите аналитические выражения I закона термодинамики через энтальпию и внутреннюю энергию, объясните их. Объясните содержание закона.
17. Напишите аналитическое выражение II закона термодинамики. Содержание и основные формулировки II закона термодинамики.
18. Что такое эксергия системы в замкнутом объеме? Как ее определить?
19. Что такое эксергия открытой системы (потока)? Как ее определить?
20. Объясните понятие эксергии теплоты. Как она рассчитывается?
21. Как изменяется работоспособность (эксергия) изолированной системы при протекании в ней необратимых процессов? Как подсчитать это изменение работоспособности?
22. В чем сущность статистического толкования второго закона термодинамики? Физический смысл энтропии. Связь между энтропией и термодинамической вероятностью.
23. Что такое обратимые и необратимые процессы? Изменение энтропии системы в необратимых процессах. Изменение энтропии в адиабатных процессах.
24. Как может изменяться энтропия в изолированной системе при протекании в ней различных термодинамических процессов? Дайте примеры.
25. Покажите, что термодинамический КПД идеального обратимого цикла Карно  $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$  не зависит от свойств рабочего тела, при помощи которого совершается цикл.

## Раздел 2:

1. Напишите уравнение Ван-дер-Ваальса. Объясните его смысл.
2. Что называется влажным, сухим насыщенным и перегретым паром?
3. Что такое фаза и что называется фазовым превращением? Приведите формулу правила фаз Гиббса и разъясните ее.

4. Напишите уравнение Клапейрона - Клаузиуса для теплоты парообразования и поясните, как можно использовать его для определения теплоты плавления и сублимации твердых тел.

5. Изобразите в  $P-v$  и  $T-s$  - диаграммах изотермический, адиабатный и политропный процессы сжатия рабочего тела в компрессоре и покажите техническую работу, затрачиваемую на эти процессы. Какой из них наиболее выгоден?

6. Изобразите индикаторную диаграмму идеального одноступенчатого компрессора. В чем заключается принципиальное различие между ней и  $P-v$  - диаграммой процесса в том же компрессоре?

7. Что такое объемный КПД компрессора? Каково влияние вредного пространства на работу компрессора?

8. С какой целью применяется многоступенчатое сжатие? Покажите схему многоступенчатого компрессора,  $P-v$  и  $T-s$  -диаграмму с изображением процессов в многоступенчатом компрессоре (процесс сжатия – адиабатный).

9. Изобразите в  $T-s$  – диаграмме процесс политропного сжатия газа в многоступенчатом компрессоре при показателе политропы  $1 < n < \kappa$ . Покажите на графике теплоту, отводимую от газа в цилиндрах компрессора и в промежуточных холодильниках.

10. Как вычисляется необходимое число ступеней сжатия в многоступенчатом компрессоре при заданных начальном и конечном давлениях рабочего тела.

11. Что такое внутренний относительный КПД компрессора и в каких случаях он используется для оценки эффективности его работы?

### Раздел 3:

1. Какие предпосылки положены в основу идеализации циклов двигателей внутреннего сгорания? Изобразите в  $P-v$  и  $T-s$  –диаграммах идеальный цикл поршневых ДВС с подводом теплоты при постоянном объеме, при постоянном давлении и со смешанным подводом теплоты и сопоставьте их с рабочими процессами в реальных двигателях.

2. Как влияет степень сжатия на термический КПД идеального цикла поршневых ДВС и какие факторы ограничивают ее величину?

3. Как влияет степень предварительного расширения на термический КПД идеального цикла ДВС с подводом теплоты при постоянном давлении?

4. Изобразите схему простейшей установки с МГД - генератором и опишите ее работу. В чем заключаются принципиальные преимущества таких установок?

5. Изобразите в  $T-s$  – диаграмме идеальный цикл установки с МГД - генератором и поясните, из каких процессов он состоит. Как определяется термический КПД идеального цикла такой установки?

6. Какую температуру имеет плазма, вытекающая из канала МГД - генератора и как используется ее внутренняя энергия? Приведите схему.

7. Каким образом повышается электропроводимость плазмы в канале МГД - генератора? На каком принципе основано получение в нем электрической энергии?

9. Покажите, что применение пара в теплосиловых установках повышает коэффициент заполнения цикла. Каким требованиям должно удовлетворять рабочее тело, при помощи которого осуществляется паросилового цикл?

10. Почему основным рабочим телом паросиловых установок служит водяной пар? Каковы его преимущества и недостатки по сравнению с парами других жидкостей?

11. Почему применение цикла Карно в паросиловых установках технически неосуществимо? Какие преимущества по сравнению с ним имеет цикл Ренкина?

12. Изобразите в  $P-v$  и  $T-s$  - диаграммах цикл Ренкина, опишите отдельные процессы из которых он состоит. В каких элементах схемы эти процессы осуществляются?

13. Как определяется работа, затрачиваемая на привод насоса? Почему при низких и средних давлениях пара этой работой можно пренебречь? Как в этом случае определяется

термический КПД цикла Ренкина.

14. Как влияют начальные параметры пара на термический КПД цикла Ренкина? Покажите их влияние с помощью T-s -диаграммы (для цикла Ренкина с перегретым паром).

15. Изобразите реальный цикл Ренкина с перегретым паром на T-s – диаграмме. Как определяется внутренний относительный КПД турбины, насоса, внутренний абсолютный КПД установки?

16. Изобразите на T-s – диаграмме идеальный цикл паросиловой установки с промежуточным перегревом пара. Объясните, какие процессы составляют цикл и в каких элементах они осуществляются. Как определяется термический КПД этого цикла?

17. Как сказывается промежуточный перегрев пара на конечной влажности пара?

18. Как практически осуществляется регенерация теплоты в паросиловых установках? Изобразите принципиальную схему такой установки с одним регенеративным отбором и объясните, почему термический КПД цикла в этом случае выше, чем у цикла Ренкина при тех же параметрах пара?

19. Покажите, что термический КПД цикла ПТУ с регенерацией повышается с повышением числа регенеративных отборов.

20. Составьте уравнение теплового баланса смешивающего регенеративного подогревателя паросиловой установки с одним регенеративным отбором и напишите выражение для определения ее термического КПД.

21. В чем заключается сущность комбинированной выработки электроэнергии и теплоты на ТЭЦ и каковы ее преимущества по сравнению с раздельной выработкой их? Для сопоставления используйте T-s – диаграмму.

22. Какие типы паровых турбин используются при комбинированной выработке электроэнергии и теплоты на ТЭЦ? Каковы преимущества, недостатки и область применения этих турбин?

23. Что такое коэффициент использования теплоты теплофикационной установки? Чему равно предельно высокое значение этого коэффициента для идеальной ТЭЦ и какие значения он может достигать в действительности?

24. Изобразите схему парогазовой установки с одной парогазовой турбиной, опишите ее работу и представьте идеальный цикл в T-s - диаграмме. Какие преимущества дает применение такого цикла по сравнению с циклом Ренкина. Как определяется термический КПД ПГУ?

25. Изобразите схему парогазовой установки с двумя турбинами (паровой и газовой), опишите работу ПГУ и представьте идеальный цикл в T-s - диаграмме. Как определяется термический КПД цикла, каковы преимущества использования двух рабочих тел.

26. Изобразите схему и цикл в T-s – диаграмме бинарной ртутно-водяной установки. Опишите достоинства и недостатки использования такой установки. Как определяется термический КПД цикла?

27. Изобразите принципиальную схему газотурбинной установки без регенерации. Опишите процессы в ее основных элементах и постройте идеальный цикл установки в P-v и T-s – диаграммах.

28. Изобразите принципиальную схему ГТУ с регенерацией. Опишите процессы в отдельных ее элементах и покажите на графике P-v и T-s – диаграммах, как осуществляется в такой установке регенерация теплоты.

29. Изобразите на T-s – диаграмме реальный цикл ГТУ с регенерацией теплоты. Объясните, что такое внутренний относительный КПД компрессора и турбины, внутренний абсолютный КПД установки, а также, что такое степень регенерации.

30. Какие существуют варианты преобразования теплоты в электрическую энергию.

31. Каковы мощности различных вариантов преобразования теплоты в электроэнергию.

32. Каковы КПД прямого преобразования теплоты в электроэнергию.

#### Раздел 4:

1. Напишите уравнение I закона термодинамики для потока в развернутой форме и дайте объяснения для всех членов уравнения.
2. Для осуществления каких процессов применяются сопла и диффузоры? Приведите примеры технического использования этих устройств.
3. Как получить уравнение неразрывности потока в дифференциальной форме? Преобразуйте уравнение неразрывности потока в дифференциальной форме применительно к истечению идеального газа.
4. Упростите уравнение первого закона термодинамики для потока применительно к случаю адиабатного истечения через сопло и получите из него выражение для скорости потока за соплом в общем виде и применительно к идеальному газу.
5. Как физически объяснить, почему при снижении внешнего давления ниже критического, скорость истечения через суживающееся сопло перестает увеличиваться?
6. Как определяются скорость и расход газа при истечении из суживающегося сопла, если давление среды  $P_{cp} > P_{кр}$ ?
7. Обоснуйте устройство сопла Лаваля. Как определяется скорость и расход газа при истечении газа из сопла Лаваля при  $P_2 < P_{кр}$ ?
8. Изобразите на T-s и h-s - диаграммах обратимый и необратимый процессы истечения.
9. Опишите реальный процесс дросселирования. Преобразуйте уравнение первого закона термодинамики для потока применительно к идеальному процессу дросселирования.
10. Как изменяются параметры газа (или пара) при дросселировании? Почему при дросселировании не изменяется температура идеального газа? Как изменяется температура реального газа?
11. Что такое параметры торможения? Как они определяются для идеального и реального газов?
12. Что такое температура инверсии, точка инверсии? Как изображается на P-t - диаграмме инверсионная кривая?

#### Раздел 5:

1. Изобразите схему воздушной компрессионной холодильной установки, опишите ее работу и представьте ее идеальный цикл в P-v и T-s - диаграммах
2. Каково основное назначение детандера в воздушной компрессионной холодильной установке и почему его нельзя заменить дроссельным вентилем?
3. Что такое холодильный коэффициент и каково примерно его значение для воздушной холодильной установки? Какое значение имеет холодильный коэффициент эквивалентного по действию обратного цикла Карно?
4. Изобразите схему и идеальный цикл парокomпрессионной холодильной установки с дроссельным вентилем и опишите процессы, из которых он состоит. Какова потеря холодопроизводительности, обусловленная заменой детандера дроссельным вентилем?
5. Какими свойствами должно обладать вещество, применяемое в качестве холодильного агента в парокomпрессионных холодильных установках?
6. Какие преимущества имеет парокomпрессионная холодильная установка по сравнению с воздушной холодильной установкой. Сопоставьте между собой идеальные циклы этих установок в T-s – диаграмме.
7. Изобразите схему парожетекторной холодильной установки и опишите ее работу, как происходит сжатие холодильного агента в этой установке и каким коэффициентом характеризуется ее эффективность? Покажите идеальный цикл установки на T-s – диаграмме.
8. Изобразите схему абсорбционной холодильной установки и опишите ее работу. Как повышается давление холодильного агента в этой установке?
9. В чем принципиальное отличие цикла теплового насоса от цикла холодильной установки? Изобразите в T-s – диаграмме идеальные циклы обеих установок и дайте пояснения по графику. Каким коэффициентом характеризуется эффективность цикла теплового насоса?

10. Что такое совмещенный термотрансформатор и каким коэффициентом характеризуется эффективность идеального цикла этой установки?

11. Как определяется холодопроизводительность и теплопроизводительность совмещенного термотрансформатора, если известен расход рабочего тела?

#### Раздел 6:

1. Химическое равновесие и второй закон термодинамики
2. Закон Гесса. Уравнение Кирхгофа.
3. Константа равновесия и степень диссоциации.
4. Тепловой закон Нернста.
5. Что такое температура горения и как ее определить.
6. Что такое горение.

#### 6.3. Варианты контрольных работ

##### Контрольная работа №1

###### Вариант 1

1. Написать уравнение I закона термодинамики через энтальпию.
2. При исследовании какого термодинамического процесса используются функции?
3. Как определяется работа расширения во всех термодинамических процессах идеального газа?
4. Сущность II закона термодинамики.
5. Для какого количества вещества справедливо выражение  $Pv=RT$ ?
  - а). для 1 кг;
  - б). для 1 м ;
  - в). Для 1 моля;
  - г). для произвольного количества вещества;
  - д). для любого постоянного количества.

###### Задача

В процессе политропного расширения азота температура его уменьшилась от  $t_1=20^\circ\text{C}$  до  $t_2=-40^\circ\text{C}$ . Начальное давление азота  $P_1=0,5\text{МПа}$ , количество его  $m=2\text{кг}$ . Определить изменение энтропии в этом процессе, если известно, что количество подведенной теплоты составляет  $90\text{кДж}$ .

###### Вариант 2

1. Дать определение понятий «теплота» и «работа».
2. Написать уравнение I закона термодинамики через внутреннюю энергию.
3. Написать уравнение политропного процесса.
4. Как определяется изменение внутренней энергии и энтальпии во всех термодинамических процессах идеального газа?
5. Формулировка II закона термодинамики (любая).

###### Задача

В регенеративном подогревателе газовой турбины воздух нагревается при постоянном давлении от  $t_1=120^\circ\text{C}$  до  $t_2=450^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, сообщенной воздуху в единицу времени, если его расход составляет  $200\text{кг/час}$ .

###### Вариант 3

1. Дать определение понятию «внутренняя энергия» системы.
2. Написать аналитическое выражение II закона термодинамики для необратимых процессов.
3. Написать уравнение адиабатного процесса, изобразить процесс в P-V и T-S диаграммах.
4. Как определяется полезная работа во всех термодинамических процессах идеального газа?

5. Дать определение термодинамического цикла.

#### Задача

Определить изменение энтропии 1 кг двуокиси углерода в изохорном процессе. Начальные параметры углекислоты:  $t_1=40^\circ\text{C}$ ,  $P_1=0,2\text{МПа}$ , конечные:  $t_2=253^\circ\text{C}$ ,  $P_2=4,5\text{МПа}$ .

#### Вариант 4

1. Дать определение понятию «энтальпия».
2. Как определяется теплота, подведенная (отведенная) в каждом из термодинамических процессов
3. Объяснить физический смысл удельной (индивидуальной) газовой постоянной.
4. Как связаны между собой параметры состояния в изохорном, изобарном, изотермическом процессах?
5. Написать формулу для расчета термического КПД цикла Карно.

#### Задача

В компрессор газотурбинной установки входит воздух при  $P_1=0,1\text{МПа}$  и  $t_1=15^\circ\text{C}$ . Воздух сжимается адиабатно до давления  $P_2=3\text{МПа}$ . Определить температуру в конце адиабатного сжатия и работу, затраченную на сжатие.

Изобразить процесс в  $P$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.

#### Вариант 5

1. Дать определение понятию «энтропия».
2. Чему равна теплоемкость в каждом из термодинамических процессов?
3. Написать уравнение изобарного процесса, изобразить его в  $P$  -  $V$  и  $T$  -  $S$  диаграммах.
4. Как определить удельную (индивидуальную) газовую постоянную для любого газа, ее размерность?
5. Написать формулу для расчета термического КПД цикла теплового двигателя.
- 6.

#### Задача

Компрессор всасывает  $100\text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха при  $P_1=0,2\text{МПа}$  и  $t_1=25^\circ\text{C}$  и сжимает его до  $P_2=1,2\text{МПа}$ . Определить температуру и объем сжатого воздуха, мощность, расходуемую на сжатие. Процесс сжатия считать политропным с показателем  $n=1,3$ .

#### Вариант 6

1. Написать уравнение состояния для 1 кг идеального газа.
2. Как определяется изменение энтропии для каждого процесса?
3. Написать уравнение изохорного процесса, изобразить его в  $P$  -  $V$  и  $T$  -  $S$  диаграммах.
4. Объяснить физический смысл универсальной газовой постоянной, ее значение и размерность.
5. Принципиальная схема теплового двигателя.
- 6.

#### Задача

Воздух в количестве  $5\text{ м}^3$  расширяется политропно от  $P_1=0,5\text{МПа}$  и  $t_1=45^\circ\text{C}$  до  $P_2=0,15\text{МПа}$ . Объем, занимаемый при этом воздухом, становится равным  $10\text{ м}^3$ . Найти показатель политропы, конечную температуру, полученную работу и количество подведенной теплоты.

#### Вариант 7

1. Написать уравнение состояния идеального газа для произвольного количества вещества.
2. Дать определение полной теплоемкости, её обозначение и размерность.
3. В каком соотношении находятся параметры состояния ( $P$ ,  $V$ ,  $T$ ) в политропном процессе?



4. Какой цикл называется прямым?

5. Как определить среднюю интегральную температуру подвода (отвода) теплоты в цикле?

Задача

В поршневом компрессоре сжимается воздух, имеющий давление  $P_1=0,1\text{МПа}$  и температуру  $t_1=20^\circ\text{C}$ . Процесс сжатия - политропный с показателем политропы  $n=1,3$ . Давление в конце сжатия  $P_2=0,7\text{МПа}$ . Определить работу сжатия для 1 кг воздуха и количество отнятой теплоты.

Вариант 8

1. Написать уравнение состояния идеального газа для 1 кмоль.
2. Какой процесс называется политропным, его уравнение, показатель политропы?
3. Дать определение удельной массовой теплоемкости, ее обозначение и размерность.
4. Какой цикл называется обратным?
5. Как определить изменение энтропии в каждом термодинамическом процессе?

Задача

Чему равна плотность воздуха при параметрах  $t = 200^\circ\text{C}$  и  $P = 15\text{ бар}$ ?

Вариант 9

1. Какой процесс называется адиабатным? Написать уравнение адиабатного процесса, объяснить смысл показателя адиабаты «К».
2. Написать уравнение Майера для 1 кг газа; для 1 кмоль.
3. Дать определение удельной объемной теплоемкости, ее обозначение и размерность.
4. В каком соотношении находятся параметры состояния ( $P$ ,  $V$ ,  $T$ ) идеального газа в адиабатном процессе ( $K=\text{const}$ )?
5. Как оценить эффективность цикла теплового двигателя?

Задача

2 кг воздуха при давлении  $P_1=0,1\text{МПа}$  и  $t_1=15^\circ\text{C}$  адиабатно сжимаются в цилиндре компрессора до давления  $P_2=0,7\text{МПа}$ . Найти конечную температуру сжатого воздуха и работу, затраченную на сжатие. Изобразить процесс в  $P$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.

Вариант 10

1. Какой процесс называется обратимым?
2. Написать уравнение I закона термодинамики через внутреннюю энергию и энтальпию.
3. Написать уравнение изотермического процесса, изобразить его в  $P$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.
4. Дать определение удельной мольной теплоемкости, ее обозначение и размерность.
5. Почему теплоемкость  $C_p$  больше теплоемкости  $C_v$ ?
- 6.

Задача

Сосуд емкостью 90 л содержит воздух при давлении  $0,8\text{МПа}$  и температуре  $30^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить воздуху, чтобы повысить его давление при  $V=\text{const}$  до  $1,6\text{МПа}$ .

Вариант 11

1. Написать объединенное выражение I и II законов термодинамики для обратимых процессов.
2. Связь теплоемкости газа с энтальпией.
3. Показать на  $P$ - $V$  диаграмме все термодинамические процессы идеального газа.
4. Как определяется теплоемкость в политропном процессе?
5. Написать уравнение адиабатного процесса, изобразить процесс в  $P$ - $V$  и  $T$ - $S$  диаграммах.

Задача

1 кг воздуха при  $P_1=0,09\text{МПа}$  и  $t_1=100^\circ\text{C}$  сжимается адиабатно так, что его объем

уменьшается в 15 раз. Найти конечную температуру, конечное давление и работу сжатия.

#### Вариант 12

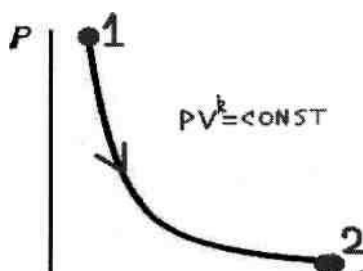
1. Показать графическую зависимость теплоемкости от показателя политропы « $n$ ».
2. Как можно рассчитать параметры состояния в адиабатном процессе?
3. Доказать, что изохора изображается в  $T - S$  диаграмме круче, чем изобара.
4. Значение цикла Карно.
5. Что называется вечным двигателем II рода?

#### Задача

Определить удельный объем и плотность кислорода при давлении 2 МПа температуре 300°C.

#### Вариант 13

1. Показать на  $T-S$  диаграмме все термодинамические процессы идеального газа.
2. Что называется параметрами состояния?
3. Написать аналитическое выражение II закона термодинамики для необратимых процессов.
4. Какой процесс называется равновесным?
5. Какая запись соответствует изображенному процессу?



- а)  $-q = -1$
- б)  $\Delta u = q$
- в)  $-\Delta u = 1$
- г)  $-\Delta u = -1$
- д)  $\Delta u = 1$

#### Задача

1 кг кислорода сжимается политропно от  $P_1 = 0,1$  МПа до  $P_2 = 0,7$  МПа. Начальная температура кислорода  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ . Показатель политропы  $n = 1,25$ . Определить конечную температуру, изменение энтропии, количество отведенной теплоты и работу сжатия.

#### Вариант 14

1. Доказать, что адиабата изображается в  $P - V$  диаграмме круче, чем изотерма.
  2. Какой цикл называется обратимым?
  3. Графическая интерпретация работы расширения (сжатия) для произвольного процесса 1-2.
  4. Почему  $T - S$  диаграмму называют «тепловой»?
  5. В каких единицах измеряется удельная массовая теплоемкость?
- а)  $\text{кДж} / \text{кг}$
  - б)  $\text{кДж} / \text{кмоль} \cdot \text{K}$
  - в)  $\text{кДж} / \text{K}$
  - г)  $\text{кДж} / \text{кг} \cdot \text{K}$
  - д)  $\text{кДж} / \text{м}^3 \cdot \text{K}$

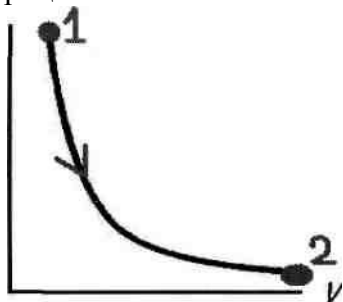
#### Задача

1 кг азота, находящийся при  $P_1 = 0,1$  МПа и  $t_1 = 40^\circ\text{C}$ , подвергается адиабатному сжатию. Степень сжатия  $\varepsilon = 20$ . Определить конечные параметры азота, пользуясь таблицей С.Л.Ривкина «Термодинамические свойства газов».

#### Вариант 15

1. Графическая интерпретация полезной работы для произвольного процесса 1-2.
2. Написать закон Бойля - Мариотта.

3. Графическая интерпретация средней и истинной теплоемкости для произвольного процесса 1-2.



4. Какова теплоемкость изображенного процесса?  
5. Физический смысл энтропии.

#### Задача

В закрытом сосуде емкостью  $V=1,5$  м содержится азот при давлении  $P_1=0,2$  МПа и температуре  $t_1=22^\circ\text{C}$ . Определить конечную температуру после подвода к газу 4000 кДж тепла.

#### Вариант 16

1. Сформулировать закон Гей - Люссака.
2. Какой процесс называется необратимым?
3. Что значит вечный двигатель I рода?
4. Почему в политропных процессах II группы теплоемкость отрицательна?
5. Доказать, что в адиабатном процессе  $S=\text{const}$ . Изобразить процесс в T-S диаграмме (теоретический и действительный)

#### Задача

Какое количество тепла необходимо подвести к воздуху, заключенному в сосуде, объемом в 20 м при давлении в 1 бар и температуре  $t_1=20^\circ\text{C}$ , чтобы поднять его температуру до  $t_2=600^\circ\text{C}$ ? При решении пользоваться таблицами.

#### Вариант 17

1. Какой газ называется идеальным?
2. Сформулировать I закон термодинамики.
3. Связь теплоемкости газа с внутренней энергией.
4. Почему в T - S диаграмме изохора изображается круче, чем изобара?
5. Чем отличается индикаторная диаграмма от P - V диаграммы?
- 6.

#### Задача

Найти изменение энтропии 2 кг воздуха:

- а) при нагревании его по изобаре от  $10^\circ\text{C}$  до  $400^\circ\text{C}$
- б) при нагревании по изохоре от  $40^\circ\text{C}$  до  $800^\circ\text{C}$ .

#### Вариант 18

1. Что значит вечный двигатель II рода?
2. Сформулировать закон Шарля.
3. Что представляет собой показатель адиабаты «К»?
4. Провести политропный процесс расширения с показателем политропы  $n=0,8$  Какова теплоемкость этого процесса?
5. Формулировка I закона термодинамики (любая).

#### Задача

К 1м воздуха, находящемуся в цилиндре, подводится при постоянном давлении 335кДж теплоты. Объем воздуха при этом увеличивается до 1,5м . Начальная температура воздуха 15°C. Какая устанавливается в цилиндре температура и какова работа расширения?

#### Вариант 19

1. Что называется термодинамическим процессом?
2. Как изменяется энтропия в обратимых и необратимых процессах?
3. Какой цикл называется необратимым?
4. Какой знак (+) или (-) имеет теплоемкость в политропных процессах I группы?
5. Что называется термическим КПД цикла?

#### Задача

В процесс политропного расширения воздуха температура его уменьшилась от  $t_1=25^\circ\text{C}$  до  $t_2=-37^\circ\text{C}$ . Начальное давление воздуха  $P_1=0,4\text{МПа}$ , его количество  $m=2\text{кг}$ . Определить изменение энтропии в этом процессе, если известно, что количество подведенной к воздуху теплоты составляет 90 кДж.

#### Вариант 20

1. Что называется термодинамической системой?
2. Как определить с помощью T-S диаграммы теплоту, подведенную (отведенную) в произвольном процессе 1-2?
3. Какой знак (+) или (-) имеет теплоемкость в политропных процессах III группы?
4. Как определить эффективность цикла?
5. Как называется уравнение  $C_p - C_v = R$ ?

#### Задача

Азот массой 1 кг в начальном состоянии имеет параметры  $P_1=2,5\text{МПа}$  и  $t_1=700^\circ\text{C}$ . После политропного расширения его давление  $P_2=0,1\text{МПа}$ . Показатель политропы  $n=1,18$ . определить изменение внутренней энергии, количество теплоты, сообщенное азоту в процессе и работу расширения.

#### Вариант 21

1. Дать определение понятию «внутренняя энергия» системы.
2. Написать аналитическое выражение II закона термодинамики для обратимых процессов.
3. Написать уравнение изобарного процесса, изобразить процесс в P-V и T-S диаграммах.
4. Как определяется полезная работа во всех термодинамических процессах идеального газа?
5. Дать определение термодинамического цикла.
- 6.

#### Задача

1кг воздуха при  $t_1=17^\circ\text{C}$  сжимается адиабатно до объема, составляющего 1/5 начального, а затем расширяется изотермически до первоначального объема. Определить работу, произведенную воздухом в результате обоих процессов. Изобразить процессы в P-V диаграмме.

#### Вариант 22

1. Какой процесс называется адиабатным. Написать уравнение адиабатного процесса, объяснить смысл показателя адиабаты «К».
2. Написать уравнение Майера для 1 кг газа; для 1 кмоль.
3. Дать определение удельной мольной теплоемкости, ее обозначение и размерность.
4. В каком соотношении находятся параметры состояния (P, V, T) идеального газа в политропном процессе?

5. Изобразить цикл Карно в P-V и T-S диаграммах.

Задача

Воздух при давлении  $P_1=0,1$  МПа и температуре  $t_1=27^\circ\text{C}$  сжимается в компрессоре до  $P_2=3,5$  МПа. Определить величину работы, затраченной на сжатие 100 кг воздуха, если воздух сжимается изотермически.

Вариант 23

1. Дать определение понятию «работа».
2. Чему равна теплоемкость в каждом из термодинамических процессов?
3. Написать уравнение изохорного процесса, изобразить его в P-V и T-S диаграммах.
4. Как определить удельную (индивидуальную) газовую постоянную для любого газа, ее размерность?
5. Написать формулу для расчета термического КПД цикла теплового двигателя.

Задача

Определить массу  $\text{CO}_2$ , содержащегося в баллоне емкостью 80 л, если давление газа по манометру равно 1,08 МПа, а показание ртутного барометра 99325 Па при  $t = 25^\circ\text{C}$ .

Вариант 24

1. Дать определение понятию «теплота».
2. Объяснить физический смысл удельной (индивидуальной) газовой постоянной.
3. Как связаны между собой параметры состояния в изохорном, изобарном, изотермическом процессах?
4. Написать формулу для расчета термического КПД цикла Карно.
5. Как узнать, теплота в процессе подводится или отводится?

Задача

В закрытом сосуде емкостью  $V=0,6$  м<sup>3</sup> содержится воздух при  $P=0,5$  МПа и  $t=20^\circ\text{C}$ . В результате охлаждения сосуда воздух, содержащийся в нем, теряет 165 кДж тепла. Какое давление и температура устанавливается после этого в сосуде, если теплоемкость воздуха равна 0,725 кДж / кг·К.

Контрольная работа №2

Вариант 1

1. Какой пар называется влажным насыщенным?
2. Изобразить T-S диаграмму водяного пара.
3. Что называется теплотой перегрева?
- 4.

Задача

Влажный пар имеет при давлении  $P=1,5$  МПа паросодержание  $x=0,85$ . Какое количество теплоты нужно сообщить 1 кг этого пара, чтобы довести его степень сухости при постоянном давлении до  $x=0,95$ . Решить задачу аналитически.

Задача

1 кг водяного пара адиабатно расширяется от начальных параметров  $P_1=10$  МПа,  $t_1=450^\circ\text{C}$  до  $P_2=0,05$  МПа. Найти значения  $h_1, \vartheta_1, h_2, \vartheta_2, x_2, \ell_{расш}$ .

Вариант 2

1. Какой пар называется сухим насыщенным?
2. Чем объясняется положительный наклон линий фазового перехода на P – T диаграмме для нормального вещества?
3. Изобразить процесс  $P = \text{const}$  для водяного пара на T – S диаграмме.

4.

Задача

Энтальпия влажного насыщенного пара при давлении  $P_1 = 1,4$  МПа составляет  $h_1 = 2705$  кДж/кг. Как изменится степень сухости пара, если к 1 кг его будет подведено 40 кДж теплоты при постоянном давлении?

Задача

В сосуде объемом  $V = 0,035$  м<sup>3</sup> содержится 0,1 кг водяного пара при давлении  $P = 0,6$  МПа. Определить величину внутренней энергии пара.

Вариант 3

1. Какой пар называется перегретым?
2. Изобразить изобарный процесс водяного пара на  $P$ – $V$ ,  $T$ – $S$  и  $h$ – $S$  диаграммах.
3. Какая точка называется «тройной»? Показать ее на  $P$ – $V$ ,  $T$ – $S$ ,  $h$ – $S$  диаграммах.

Задача

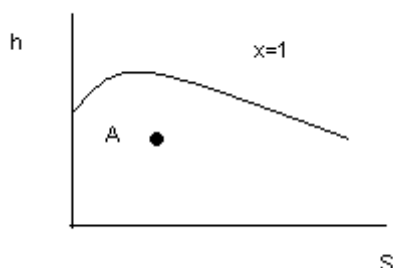
Влажный пар имеет при давлении  $P_1 = 1$  МПа степень сухости  $x = 0,85$ . Какое количество теплоты нужно сообщить 1 кг этого пара, чтобы перевести его при постоянном давлении в сухой насыщенный пар?

Задача

1 кг пара расширяется адиабатно от начальных параметров  $P_1 = 9$  МПа и  $t_1 = 450$  °С до  $P_2 = 0,004$  МПа. Найти значения  $h_1$ ,  $V_1$ ,  $h_2$ ,  $V_2$ ,  $x_2$  и работу расширения.

Вариант 4

1. Что называется степенью сухости водяного пара?
2. Изобразить изохорный процесс водяного пара на  $P$ – $V$ ,  $T$ – $S$  и  $h$ – $S$  диаграммах.
3. Как определить температуру  $t$ . А?



Задача

1 кг водяного пара при  $P = 1$  МПа и  $t_1 = 240$  °С нагревается при постоянном давлении до  $t_2 = 320$  °С. Определить затраченное количество теплоты, работу расширения и изменение внутренней энергии.

Задача

Найти массу 12 м<sup>3</sup> пара давления  $P = 2$  МПа и степени сухости  $x = 0,75$ .

Вариант 5

1. Что называется степенью влажности?
2. Как рассчитать теплоту, подведенную или отведенную в изотермическом процессе водяного пара?
3. Что называется критической точкой?
- 4.

Задача

Пар, имеющий параметры  $P_1 = 3,4$  МПа и  $x_1 = 98\%$ , изоэнтропно сжимается до  $P_2 = 9,0$  МПа. Найти температуру и энтальпию пара в конечном состоянии. Определить величину работы

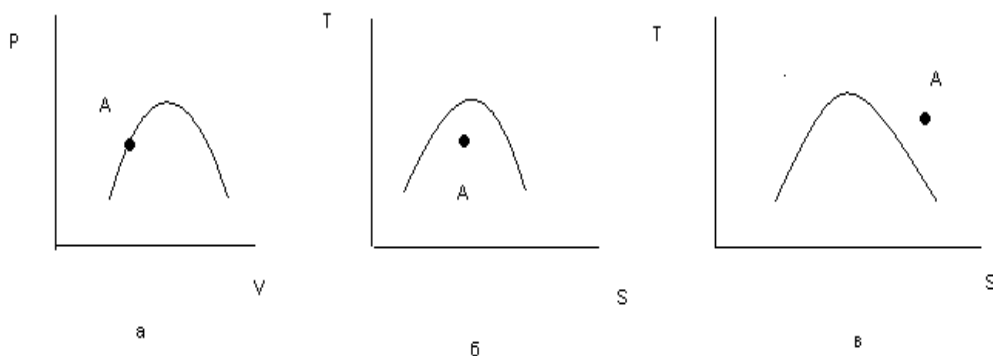
сжатия и изменение внутренней энергии 1 кг пара. Задача решить, пользуясь таблицами. Проверить результаты по  $h-S$  диаграмме.

#### Задача

Найти состояние водяного пара, если давление  $P = 1$  МПа, а энтропия  $S = 6,52$  кДж/кг·град.

#### Вариант 6

1. Что называется теплотой парообразования?
2. Можно ли с помощью таблиц воды и водяного пара определить параметры влажного насыщенного пара?
3. В каком случае состояние, изображенное т. А, соответствует понятию «влажный насыщенный пар»?



#### Задача

Энтальпия влажного насыщенного пара при  $P = 1,5$  МПа составляет  $h_x = 2700$  кДж/кг. Как изменится степень сухости пара, если к 1 кг его будет подведено 50 кДж тепла при постоянном давлении.

#### Задача

Определить объем резервуара, заполненного влажным паром, имеющим степень сухости  $x = 0,95$ , если масса пара  $m = 160$  кг, а температура в резервуаре  $t = 280$  °С.

#### Вариант 7

1. Что называется критической точкой?
2. Изобразить изобарный процесс водяного пара  $P - V$ ,  $T - S$  и  $h - S$  диаграммах.
3. Что называется теплотой парообразования?
  - а) количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг кипящей жидкости в кг перегретого пара при данном давлении.
  - б) количество теплоты, необходимое для превращения 1 м<sup>3</sup> кипящей жидкости в 1 кг сухого насыщенного пара при данном давлении;
  - в) количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг кипящей жидкости в 1 кг сухого насыщенного пара при данном давлении.
  - г) количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар.
  - д) количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг жидкости в 1 кг сухого насыщенного пара данным давлении.

#### Задача

Сухой насыщенный водяной пар расширяется адиабатно от  $P_1 = 1$  МПа до  $P_2 = 0,05$  МПа. Определить степень сухости в конце расширения.

#### Задача

Пар при давлении  $P_1 = 2,8$  МПа и температуре  $t_1 = 350$  °С расширяется адиабатно до  $P_2 = 0,008$

МПа. Найти степень сухости в конце процесса и давление, при котором пар в процессе расширения окажется сухим насыщенным.

#### Вариант 8

1. Что называется тройной точкой?
2. Изобразить адиабатный процесс водяного пара  $P$ – $V$ ,  $T$ – $S$  и  $h$ – $S$  диаграммах.
3. Для определения какого параметра используется в практике уравнение Клапейрона-Клаузиуса?  
а)  $V'$  б)  $\rho$  в)  $T$  г)  $P$  д)  $V''$ .

#### Задача

Влажный пар имеет при давлении  $P_1 = 1$  МПа степень сухости  $x = 0,95$ . Какое количество нужно сообщить 1 кг этого пара, чтобы перевести его при постоянном давлении в сухой насыщенный пар? Решить задачу с помощью  $h$  –  $S$  диаграммы.

#### Задача

Состояние водяного пара задано параметрами: давление  $P = 0,2$  МПа, плотность  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>. Определить  $t$ ,  $U$ ,  $h$ ,  $S$  для 1 кг этого пара.

#### Вариант 9

1. Что называется фазой, фазовым переходом?
2. Как определить энтальпию влажного насыщенного водяного пара?
3. Что называется степенью сухости водяного пара? Какие значения она принимает?
- 4.

#### Задача

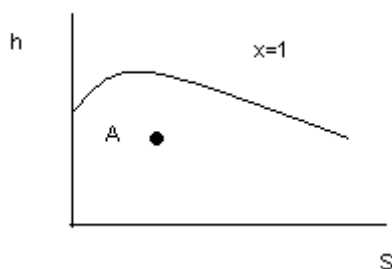
Пар, имеющий параметры  $P_1 = 3$  МПа и  $x_1 = 0,98$ , изэнтропно сжимается до  $P_2 = 8$  МПа. Найти температуру и энтальпию пара в конечном состоянии. Определить величину работы сжатия и изменения внутренней энергии для 1 кг.

#### Задача

1 кг пара при  $P_1 = 1,8$  МПа и  $x_1 = 0,7$  изотермически расширяется до  $P_2 = 0,8$  МПа. Определить конечные параметры, количество подведенной теплоты, изменение внутренней энергии и работу расширения.

#### Вариант 10

1. Какие точки располагаются на верхней и нижней пограничных кривых?
2. Как определить с помощью  $h$  –  $S$  диаграммы температуру точки А?



3. Что называется теплотой парообразования?
- 4.

#### Задача

1 кг водяного пара сжимается изотермически. Начальные параметры  $P_1 = 30$  бар,  $t_1 = 360$  °С, а конечные соответствуют состоянию кипящей жидкости. Определить параметры в конце процесса и количество отведенного тепла.

#### Задача

Найти массу 10 м<sup>3</sup> пара при давлении  $P = 1,5$  МПа и степени сухости  $x = 0,9$ .



### Вариант 11

1. Написать уравнение кривой фазового перехода.
2. Как определить теплоту, подведенную или отведенную в изобарном процессе водяного пара?
3. Какой пар называется влажным насыщенным? Показать область его нахождения на  $T - S$  диаграмме.

#### Задача

Пользуясь диаграммой  $h - S$  водяного пара, определить энтальпию пара:

- сухого насыщенного при  $P = 1$  МПа;
- влажного насыщенного при  $P = 1$  МПа,  $x = 0,95$ ;
- перегретого при  $P = 1$  МПа,  $t = 300$  °С.

Сравнить полученные значения энтальпии с табличными.

#### Задача

Найти по диаграмме  $h - S$  адиабатный перепад теплоты ( $\Delta h$ ) и конечное состояние пара при расширении от  $P_1 = 1,4$  МПа и  $t_1 = 300$  °С до  $P_2 = 0,006$  МПа.

### Вариант 12

1. Что называется теплотой перегрева?
2. Как понимать, что степень сухости  $x = 1$ ?
3. Изобразить адиабатный процесс водяного пара на  $P - V$ ,  $T - S$  и  $h - S$  диаграммах.

#### Задача

Пар при давлении  $P_1 = 8$  МПа и температуре  $t_1 = 350$  °С расширяется адиабатно до конечного давления  $P_2 = 0,008$  МПа. Найти степень сухости в конце процесса и давление, при котором пар в процессе расширения окажется сухим насыщенным.

#### Задача

Найти массу  $8 \text{ м}^3$  пара при давлении  $P = 2$  МПа и степени сухости  $x = 0,8$ .

### Вариант 13

1. В чем особенность расчета изотермического процесса водяного пара по сравнению с идеальным газом?
2. Какой пар называется сухим насыщенным?
3. Написать уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

#### Задача

Найти по диаграмме  $h - S$  конечное состояние при расширении пара от  $P_1 = 1,4$  МПа,  $t_1 = 300$  °С до  $P_2 = 0,06$  МПа. Определить параметры в конечном состоянии. Процесс изоэнтропный.

#### Задача

Определить температуру, удельный объем, плотность, энтальпию сухого насыщенного водяного пара при давлении  $P = 2,5$  МПа.

### Вариант 14

1. Как определить внутреннюю энергию водяного пара?
2. Изобразить изотермический процесс водяного пара на  $P - V$ ,  $T - S$  и  $h - S$  диаграммах.
3. Какой процесс называется сухим насыщенным?

#### Задача

Параметры начального состояния:  $P_1 = 2$  МПа,  $t_1 = 300$  °С. Давление в конденсаторе  $P_2 = 0,004$  МПа. Определить с помощью  $h - S$  диаграммы остальные параметры (процесс адиабатный).

### Задача

Найти состояние водяного пара:

1. если давление его  $P = 2$  МПа, а удельный объем  $V = 0,079$  м<sup>3</sup>/кг;
2. если давление  $P = 0,9$  МПа, а энтропия  $S = 6,52$  кДж/кгхград.

### Вариант 15

1. Написать уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
2. Чем обязательно различаются состояния «сухой насыщенный пар» и «перегретый пар» при  $P = \text{const}$ ?
3. Какой линией изображается изотерма в области влажного насыщенного пара на диаграммах состояния?

### Задача

Пар, имеющий параметры  $P_1 = 4$  МПа и  $x_1 = 0,98$ , изоэнтропно сжимается до  $P_2 = 9$  МПа. Найти температуру и энтальпию пара в конечном состоянии. Определить величину работы сжатия и изменения внутренней энергии для 1 кг.

### Задача

В сосуде объемом  $V = 0,04$  м<sup>3</sup> содержится 0,2 кг водяного пара при давлении  $P = 0,8$  МПа. Определить величину внутренней энергии пара.

### Вариант 16

1. Написать уравнение состояния для водяного пара.
2. Как определить энтропию влажного насыщенного пара?
3. Какой пар называется перегретым?
- 4.

### Задача

6 кг водяного пара при  $P = 1$  МПа и степени сухости  $x = 0,75$  расширяются изотермически так, что в конце расширения пар оказывается сухим насыщенным. Определить  $Q, \Delta U, L$ .

### Задача

Найти массу 15 м<sup>3</sup> пара при давлении  $P = 1,5$  МПа и степени сухости  $x = 0,95$ .

### Вариант 17

1. Как рассчитать степень сухости водяного пара?
2. Какие параметры воды и водяного пара можно определить с помощью таблицы 3?
3. Что называется теплотой парообразования?

### Задача

Определить температуру, удельный объем, плотность, энтальпию и энтропию сухого насыщенного водяного пара при давлении  $P = 1$  МПа.

### Задача

1 кг водяного пара при  $P = 1,5$  МПа и  $t_1 = 300$  °С нагревается при постоянном давлении до  $t_2 = 450$  °С. Определить затраченное количество теплоты, работу расширения и изменение внутренней энергии.

### Вариант 18

1. Изобразить фазовую  $P - T$  диаграмму для нормального и аномального вещества.
2. Какие параметры воды и водяного пара можно определить с помощью таблиц?
3. Какая точка называется тройной?

### Задача

Из парового котла поступает в пароперегреватель 2700 кг/час пара  $P = 1,6$  МПа,  $x =$

0,98. Температура пара после пароперегревателя  $400^{\circ}\text{C}$ . Найти количество тепла, которое пар получает в пароперегревателе ( $P=\text{const}$ ).

#### Задача

Найти состояние водяного пара, если его давление  $P = 3 \text{ МПа}$ , а удельный объем  $V = 0,079 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Задачу решить с помощью таблицы.

#### Вариант 19

1. Как определить теплоту в изотермическом процессе водяного пара?
2. Как определить внутреннюю энергию водяного пара?
3. Что называется степенью влажности водяного пара?

#### Задача

Определить объем резервуара, заполненного влажным паром, имеющим степень сухости  $x = 0,95$  если масса пара  $m = 160 \text{ кг}$ , а температура в резервуаре  $t = 280^{\circ}\text{C}$ .

#### Задача

Влажный пар имеет при давлении  $P_1 = 0,8 \text{ МПа}$  степень сухости  $x = 0,9$ . Какое количество теплоты нужно сообщить  $1 \text{ кг}$  этого пара, чтобы перевести его при постоянном давлении в перегретый с  $t_2 = 400^{\circ}\text{C}$ ?

#### Вариант 20

1. Чем отличаются таблицы 1 и 2 для воды и водяного пара?
2. Как рассчитать степень сухости водяного пара?
3. Как определить параметры влажного насыщенного пара?
- 4.

#### Задача

Определить объем резервуара, заполненного влажным паром, имеющим степень сухости  $x=0,85$ , если масса пара  $m=160\text{кг}$ , а температура в резервуаре  $t=300^{\circ}\text{C}$ .

#### Задача

Пар, имеющий параметры  $P_1 = 4 \text{ МПа}$  и  $x_1 = 0,95$ , изоэнтропно сжимается до  $P_2 = 9 \text{ МПа}$ . Найти  $t$  и  $h$  пара в конечном состоянии. Определить величину работы сжатия и изменения внутренней энергии для  $1 \text{ кг}$ .

#### 6.4. Задание на практические работы

Примерный перечень тем заданий представлен в разделе 7 «Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации».

№	Тема задач
1	Расчет горения доменного и коксового газов
2	Расчет горения природного газа
3	Расчет горения конвертерного газа
4	Расчет горения конвертированного газа
5	Сжатие доменного дутья
6	Сжатие воздуха для производства кислорода
7	Расчет обжига извести и нагрева металла
8	Расчет общего электро- и паропотребления
9	Эффективность паротурбинного цикла
10	Эффективность газотурбинного цикла
11	Эффективность парогазового цикла
12	Расчет производства на ПГ
13	Расчет производства на коксо-доменной смеси

14	Расчет производства на конвертерном газе
15	Расчет производства на конвертированном газе
16	Оформление и сдача на проверку

Методами технической термодинамики для предприятия черной металлургии заданной производительности (по варианту) определить потребность в природном газе и электроэнергии, минимальную мощность собственной электростанции

Годовое производство проката

Доля электростали

Доля электроприводов

Основные расходы ЭЭ на предприятии черной металлургии складываются из расходов

на сжатие доменного дутья: воздуха и кислорода

на сжатие воздуха для производства кислорода

на электросталеплавильное производство

на горячий и холодный прокат

Эти расходы определяют минимальную мощность промышленной тепловой электрической станции

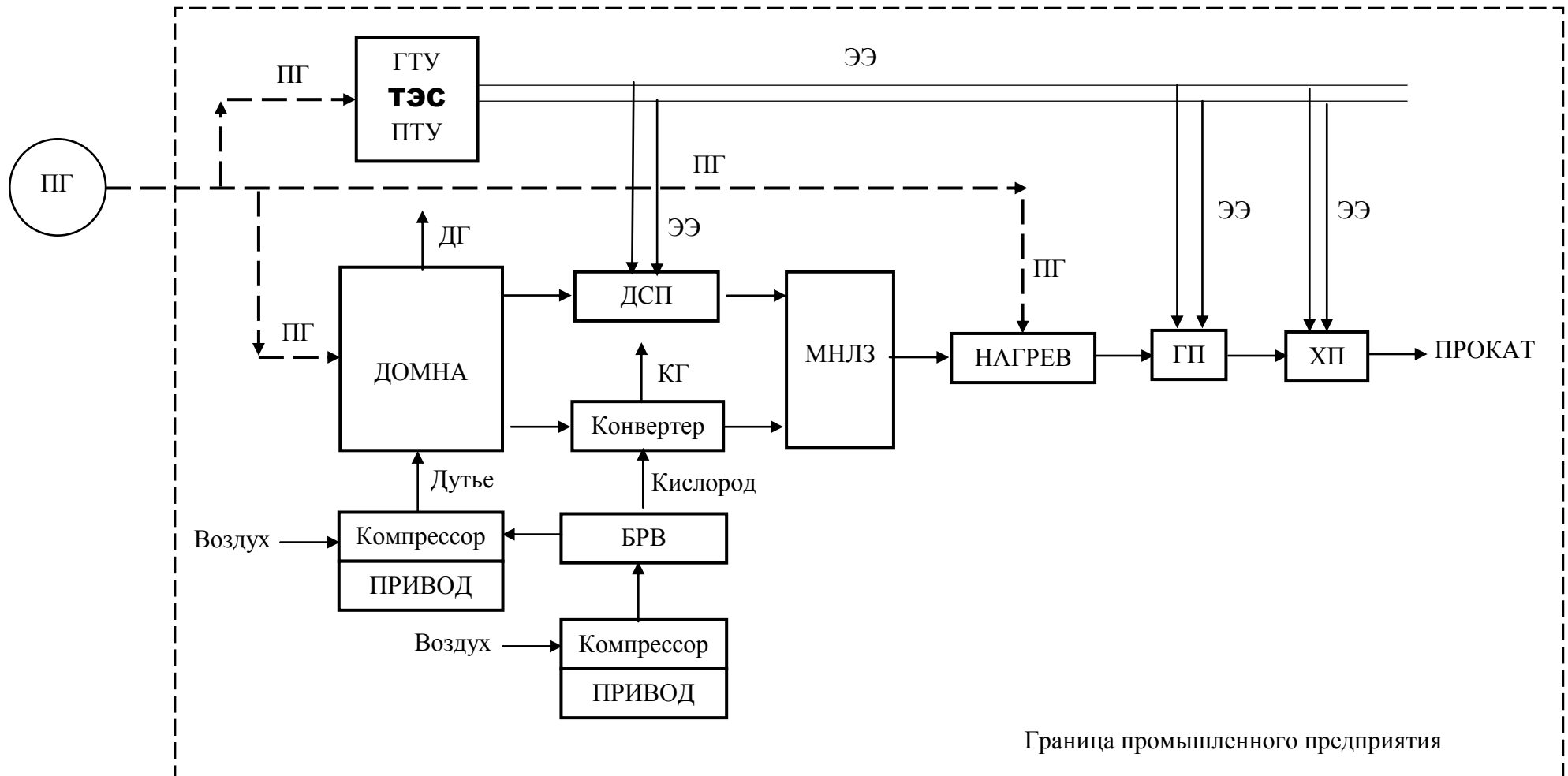
Электродуговые печи потребляют 300 – 800 кВт·ч / т стали.

Горячий прокат потребляет 80 – 120 кВт·ч / т

Холодный прокат потребляет 130 – 180 кВт·ч / т

УПРОЩЕННАЯ СХЕМА ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ  
К курсовой работе по технической термодинамике

ПГ – природный газ	ТЭС – тепловая электрическая станция	ГТУ – газотурбинная установка
ПТУ – паротурбинная установка	ЭЭ – электроэнергия	ДГ – доменный газ
ДСП – дуговая сталеплавильная печь	КГ – конвертерный газ	БРВ – блок разделения воздуха
МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовок	ГП – горячий прокат	ХП – холодный прокат





## СЖИГАНИЕ ТОПЛИВ

Для промышленных топлив:

Природный газ, Доменный газ, Коксовый газ, Конвертерный газ, Конвертированный природный газ, смесь Доменного и коксового газов, 90/10%.

Рассчитать:

высшую теплоту сгорания

расход воздуха на горение

объем и состав продуктов сгорания

точку росы продуктов сгорания

низшую теплоту сгорания

температуру горения

РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ДОМЕННОГО И КОКСОВОГО ГАЗОВ

РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Рассчитать:

высшую теплоту сгорания

расход воздуха на горение

объем и состав продуктов сгорания

точку росы продуктов сгорания

низшую теплоту сгорания

температуру горения

РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Рассчитать:

высшую теплоту сгорания

расход воздуха на горение

объем и состав продуктов сгорания

точку росы продуктов сгорания

низшую теплоту сгорания

температуру горения

РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ КОНВЕРТИРОВАННОГО ГАЗА

Рассчитать:

высшую теплоту сгорания

расход воздуха на горение

объем и состав продуктов сгорания

точку росы продуктов сгорания

низшую теплоту сгорания

температуру горения

СЖАТИЕ ДОМЕННОГО ДУТЬЯ

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Для доменного производства чугуна требуется  $1400 - 1700 \text{ м}^3$  воздуха с температурой  $1000 - 1200 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлением до  $4 - 6 \text{ атм}$ . Сжатие трехступенчатое.

Рассчитать затраты механической энергии на сжатие и тепловой энергии на нагрев доменного дутья с добавлением  $100 - 180 \text{ м}^3$  кислорода.

Рассчитать количество теплоты, отведенной от промежуточных холодильников воздуха.

Сжатие воздуха для доменного процесса осуществляется

Паровым приводом  $9.0 \text{ Мпа}$  и  $535^\circ\text{C}$

И электрическим приводом с долей по заданию.

Определить расход пара и ЭЭ на привод.

## СЖАТИЕ ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОРОДА

БРВ производство кислорода

Для доменного производства требуется  $100 - 180 \text{ м}^3$  кислорода.

Для кислородно-конвертерного производства требуется  $60 - 80 \text{ м}^3$  кислорода.

Кислород производится из воздуха давлением  $4 - 6 \text{ атм}$ . Сжатие трехступенчатое.

Рассчитать работу сжатия.

Рассчитать количество теплоты, отведенной от промежуточных холодильников воздуха.

Сжатие воздуха для доменного процесса осуществляется

Паровым приводом  $9.0 \text{ МПа}$  и  $535^\circ\text{C}$

И электрическим приводом с долей по заданию.

Определить расход пара и ЭЭ на привод.

## РАСЧЕТЫ ОБЖИГА ИЗВЕСТИ И НАГРЕВА МЕТАЛЛА

Для производства  $1 \text{ т}$  листового проката требуется  $250 \text{ кг}$  извести, которую получают обжигом известняка.

Рассчитать расходы топлив на обжиг известняка по начальной температуре горения.

Построить графики.

Рассчитать выход извести и  $\text{CO}_2$  на  $1 \text{ т}$  проката.

Металл перед горячей прокаткой нагревается до  $1200^\circ\text{C}$ . Определить расходы топлива на этот нагрев.

## РАСЧЕТ ОБЩЕГО ЭЛЕКТРО- И ПАРПОТРЕБЛЕНИЯ

на сжатие доменного дутья: воздуха и кислорода

на сжатие воздуха для производства кислорода

на электросталеплавильное производство

на горячий и холодный прокат

Эти расходы определяют минимальную мощность промышленной тепловой электрической станции

Паропотребление складывается из затрат на:

на сжатие доменного дутья: воздуха и кислорода

на сжатие воздуха для производства кислорода

на конвертирование природного газа

Паровой привод имеет параметры

	$P_0$ , МПа	$T_0$ , $^\circ\text{C}$
1.	$3 - 5$	435
2.	9,0	535

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРОТУРБИННОГО ЦИКЛА

### ЦИКЛЫ

#### ПТУ

Для  $1 \text{ т}$  у.т промышленного топлива:

Рассчитать количество производимого перегретого водяного пара в котле

Для паротурбинных циклов с начальными параметрами

	$P_0$ ,	$T_0$ , $^\circ\text{C}$
--	---------	--------------------------



	МПа	
3.	3 – 5	435
4.	9,0	535
5.	13,0	565
6.	24,0	560

Рассчитать эффективность цикла Ренкина с перегревом

С регенеративным подогревом питательной воды

Рассчитать расход промышленных топлив на производство 100 т пара

Построить графики

#### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОТУРБИННОГО ЦИКЛА

ГТУ

Для газотурбинного цикла с начальной температурой 1200 – 1500°С

Рассчитать

4 базовые температуры цикла

Удельную работу цикла

К.п.д. цикла

Расход топлив на цикл

Построить графики

#### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРОГАЗОВОГО ЦИКЛА

ПГУ

Для бинарного цикла ГТУ-ПГУ с котлом-утилизатором рассчитать:

4 базовые температуры цикла

Удельную работу цикла

К.п.д. цикла

Расход топлив на цикл

#### РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА НА ПГ

Рассчитать расходы топлива на нужды предприятия:

На производство электрической и тепловой энергии

На обжиг извести и нагрев металла

В Доменную печь

#### РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА НА КОКСО-ДОМЕННОЙ СМЕСИ 10/90%

Рассчитать расходы топлива на нужды предприятия:

На производство электрической и тепловой энергии

На обжиг извести и нагрев металла

#### РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА НА КОНВЕРТЕРНОМ ГАЗЕ

Рассчитать расходы топлива на нужды предприятия:

На производство электрической и тепловой энергии

На обжиг извести и нагрев металла

#### РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВА НА КОНВЕРТИРОВАННОМ ГАЗЕ

Рассчитать расходы топлива на нужды предприятия:

На производство электрической и тепловой энергии

На обжиг извести и нагрев металла

Средняя теплоёмкость газов, кДж/м<sup>3</sup>·К

T, K	Воздух	O2	N2	H2	CO	CO2	H2O (пар)	CH4	t, °C
273	1,296	1,305	1,294	1,276	1,298	1,599	1,493	1,549	0
373	1,299	1,317	1,295	1,290	1,301	1,699	1,504	1,641	100
473	1,306	1,334	1,299	1,296	1,306	1,786	1,522	1,758	200
573	1,316	1,355	1,306	1,298	1,316	1,861	1,541	1,885	300
673	1,328	1,376	1,315	1,301	1,328	1,928	1,564	2,014	400
773	1,342	1,397	1,327	1,304	1,342	1,987	1,589	2,139	500
873	1,356	1,416	1,339	1,307	1,356	2,040	1,613	2,259	600
973	1,370	1,433	1,353	1,311	1,371	2,087	1,640	2,375	700
1073	1,383	1,449	1,366	1,316	1,385	2,130	1,667	2,492	800
1173	1,397	1,463	1,379	1,322	1,398	2,168	1,694	2,601	900
1273	1,409	1,476	1,391	1,328	1,412	2,202	1,722	2,697	1000
1373	1,420	1,488	1,402	1,335	1,424	2,233	1,749	2,784	1100
1473	1,432	1,499	1,413	1,342	1,435	2,262	1,776	2,861	1200
1573	1,442	1,509	1,424	1,350	1,445	2,288	1,802		1300
1673	1,452	1,519	1,434	1,358	1,456	2,312	1,822		1400
1773	1,461	1,528	1,443	1,366	1,465	2,334	1,851		1500
1873	1,470	1,537	1,452	1,374	1,474	2,354	1,875		1600
1973	1,478	1,545	1,460	1,382	1,481	2,373	1,898		1700
2073	1,486	1,553	1,468	1,391	1,489	2,390	1,920		1800
2173	1,493	1,561	1,475	1,399	1,496	2,406	1,941		1900
2273	1,500	1,568	1,481	1,407	1,503	2,420	1,961		2000
2373	1,506	1,575	1,488	1,414	1,509	2,434	1,981		2100
2473	1,512	1,582	1,494	1,422	1,515	2,447	1,999		2200
2573	1,518	1,589	1,500	1,429	1,520	2,459	2,017		2300
2673	1,524	1,595	1,505	1,436	1,526	2,469	2,035		2400
2773	1,529	1,602	1,510	1,444	1,531	2,479	2,031		2500

### 7 Оценочные средства проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства																				
ОПК-4 - Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах																						
ОПК-4.1	Разрабатывает основные способы получения и преобразования теплоты в теплотехнических установках и системах	Задача 1  К паровой турбине пар поступает с параметрами $P_1, t_1$ . После адиабатного расширения пара в первой ступени до температуры $T_a$ , он направляется в промежуточный подогреватель, где при постоянном давлении его температура повышается до $T_b$ . Затем пар расширяется в последующих ступенях турбины до давления $P_2$ в конденсаторе. Относительный внутренний КПД турбины $\eta_{oi}$ , насоса $\eta_{oi}$ . Определить: 1.Параметры рабочего тела в характерных точках цикла (свести в таблицу); 2.Теоретические и действительные работы турбины,насоса и цикла в целом; 3.Термический и абсолютный внутренний КПД цикла с вторичным перегревом и без него (цикла Ренкина); 4.На сколько уменьшится влажность пара на выходе из турбины по сравнению с циклом Ренкина; 5.Каковы среднеинтегральные температуры подвода и отвода теплоты в цикле с вторичным перегревом и без него; Построить на $P - v, T - s, h - s$ диаграммах (в масштабе) идеальный и действительный цикл с промежуточным перегревом и без него.																				
		Исходные данные:																				
		<table><tr><th colspan="4">Параметры</th><th colspan="6">Вариант</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr></table>	Параметры				Вариант										1	2	3	4	5	6
		Параметры				Вариант																
						1	2	3	4	5	6											
7	8	9	10																			
	Давление	пара	перед																			

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства								
		14 турбиной, Р <sub>1</sub> , МПа 9	17	15	13	11	10	12	9	13
		Температура пара перед турбиной, t <sub>1</sub> , °С 560 520	550	560	540	570	560	510	540	550
		Температура пара перед промежуточным 340 330	300	320	370	380	350	420	310	320
		перегревом, t <sub>а</sub> , °С								
		Температура пара перед второй ступенью 530 520	530	540	520	550	580	560	530	540
		турбины, t <sub>в</sub> , °С								
		Давление пара на выходе из турбины Р <sub>2</sub> , МПа 0,004 0,003			0,003					0,0035
		Относительный внутренний КПД:								
		турбины η <sup>т</sup> 0,95 0,92	0,86	0,88	0,90	0,87	0,86	0,85	0,91	0,94
		oi								
		насоса η <sup>н</sup> 0,90 0,84	0,82	0,85	0,86	0,84	0,83	0,82	0,88	0,87
		oi								
		Задача 2								
		В паровую турбину поступает пар с параметрами Р <sub>1</sub> , t <sub>1</sub> .								

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства										
		Турбина имеет два регенеративных отбора в подогреватели поверхностного типа с каскадным сбросом конденсата греющего пара. Давление отборов $P_{01}$ и $P_{02}$ . Давление в конденсаторе $P_2$ . Относительный внутренний КПД турбины $\eta_{oi}$ , Определить: 1.Параметры рабочего тела в характерных точках цикла (свести в таблицу); 2.Теоретическую и действительную работу турбины (цикла); 3.Термический и абсолютный внутренний КПД цикла с регенерацией и без нее (цикл Ренкина); 4.Экономию за счет введения регенеративного подогрева; 5.Каковы среднеинтегральные температуры подвода и отвода теплоты в цикле с регенерацией и без нее; Построить на $P - v$ , $T - s$ , $h - s$ диаграммах (в масштабе) идеальный и действительный циклы ПТУ с регенерацией.										
		Исходные данные:										
		Параметры					Вариант					
							1	2	3	4	5	6
		7	8	9	10							
		Давление пара перед										
			турбиной $P_1$ , МПа	15	17	10	8	12	9	12		
		10	11 9									
		Температура пара перед										
			турбиной $t_1$ , °C	520	560	500	450	510	480	530	540	
		550	490									
		Давление пара в первом										
			отборе $P_{01}$ , МПа	0,7	0,5	0,6	0,8	0,4	0,5	0,6		
		0,9	0,7 1,2									
		Давление пара во втором										
	отборе $P_{02}$ , МПа	0,12	0,14	0,15	0,11	0,15	0,13	0,10	0,20			



Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства										
		14	перед турбиной Р <sub>1</sub> , МПа 6	5	7	10	12	15	18	9	11	
			Температура пара									
		560	перед турбиной t <sub>1</sub> , °С	470	510	540	550	560	570	520	530	550
			Давление пара в пер-									
		2,5	вом отборе Р <sub>01</sub> , МПа 1,8	1	2	1,5	2	2,5	2,5	1	2	
			Давление пара во									
		0,5	втором отборе Р <sub>02</sub> , МПа	0,15	0,18	0,20	0,25	0,20	0,30	0,15	0,17	0,20
			Расход пара в пер-									
		10	вом отборе D <sub>01</sub> , т / ч 20	20	15	18	25	30	35	16	14	
			Расход пара во вто-									
		24	ром отборе D <sub>02</sub> , т / ч 25	45	40	35	15	20	25	30	36	
			Давление пара на выхо-									
			де из турбины Р <sub>2</sub> , МПа	0,003				0,0035			0,004	
			Мощность турбины N <sub>3</sub> , МВт									
		30	40 18	15	25	30	35	45	40	35		
	Температура питательной воды, С	130	125	140	130	150	125	130				

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства									
		145	135	120							
		0,89	Относительный внутренний КПД турбины 0,93 Практические задания	0,85	0,86	0,82	0,84	0,88	0,83	0,90	0,92
ОПК-4.2	Разрабатывает основные способы транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	1. Написать уравнение I закона термодинамики через энтальпию. 2. При исследовании какого термодинамического процесса используются функции? 3. Как определяется работа расширения во всех термодинамических процессах идеального газа? 4. Сущность II закона термодинамики. 5. Для какого количества вещества справедливо выражение $Pv=RT$ ? а). для 1 кг; г). для произвольного количества б). для 1 м <sup>3</sup> ; вещества; в). Для 1 моля; д). для любого постоянного количества. Задача В процессе политропного расширения азота температура его уменьшилась от $t_1=20^{\circ}\text{C}$ до $t_2=-40^{\circ}\text{C}$ . Начальное давление азота $P_1=0,5\text{МПа}$ , количество его $m=2\text{кг}$ . Определить изменение энтропии в этом процессе, если известно, что количество подведенной теплоты составляет 90кДж. В регенеративном подогревателе газовой турбины воздух нагревается при постоянном давлении от $t_1=120^{\circ}\text{C}$ до $t_2=450^{\circ}\text{C}$ . Определить количество теплоты, сообщенной воздуху в единицу времени, если его расход составляет 200кг/час. Определить изменение энтропии 1 кг двуокиси углерода в изохорном процессе. Начальные параметры углекислоты: $t_1=40^{\circ}\text{C}$ , $P_1=0,2\text{МПа}$ , конечные: $t_2=253^{\circ}\text{C}$ , $P_2=4,5\text{Мпа}$ .									

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания (зачет, зачет с оценкой).**

Зачет с оценкой выставляется за все сданные задания по результатам рейтинга либо в форме собеседования. Посещение лекции – 1 балл, оценка заданий по 5-ти бальной шкале. В конце семестра баллы суммируются и вычисляется процент от максимально-возможной суммы баллов за семестр.

**Показатели и критерии оценивания зачета с оценкой**



Критерии оценки:

– на оценку «отлично» (5 баллов) – обучающийся демонстрирует систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности или набирает более 90 % рейтинговых баллов.

– на оценку «хорошо» (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень обученности: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации или набирает от 75 до 89 % рейтинговых баллов.

– на оценку «удовлетворительно» (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень обученности: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации или набирает от 50 до 74 % рейтинговых баллов.

– на оценку «неудовлетворительно» (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач или набирает менее 50 % рейтинговых баллов.

Для получения зачета необходимо набрать более 75 % рейтинговых баллов, либо пройти собеседование.

#### **Показатели и критерии оценивания зачета:**

– на оценку «**зачтено**» – обучающийся демонстрирует от высокого до порогового уровня сформированности компетенций:

– всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку «**незачтено**» – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач; обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.