

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Б1.Б.18 Теплотехника

**Направление подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»
Профиль образовательной программы Технический сервис в АПК
Форма обучения очная**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Организация самостоятельной работы.....	3
2. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов.....	6
3. Методические рекомендации по подготовке к занятиям.....	6
4. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных домашних задания.....	9

1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы				
		подготовка курсового проекта (работы)	подготовка реферата/эссе	индивидуальные домашние задания (ИДЗ)	самостоятельное изучение вопросов (СИВ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1.1.	Тема 1 Введение. Основные понятия и определения. Параметры тел.		x		1	2
1.2.	Тема 2 Газовые смеси. Теплоемкость.		x	6	1	2
1.3	Тема 3 Первый закон термодинамики. Исследование политропного и адиабатного процессов.		x	6	1	2
1.4	Тема 4 Исследование изобарного, изохорического и изотермического процессов. Исследование групп политропных процессов		x	6	2	4
1.5	Тема 5 Второй закон термодинамики. Циклы Карно прямой и обратный. Свойства обратимых и необратимых циклов.		x		1	2
2.1.	Тема 6 Исследование идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания		x	18	1	2

2.2.	Тема 7 Циклы паросиловых установок. Влияние параметров пара на эффективность использования тепла		х		1	2
2.3	Тема 8 Влажный воздух. Компрессоры		х		1	2

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ

1. Круговой процесс
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.
2. Давление газовой смеси
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.
3. Политропный и адиабатный процессы в TS координатах.
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.
4. Изобарный, изохорический и изотермический процессы в TS координатах
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.
5. Тепловой насос
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.
6. Графическое представление циклов ДВС в PV координатах.
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.
7. Процесс парообразования в TS координатах.
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.
8. Диаграмма id влажного воздуха
При изучении вопроса необходимо акцентировать внимание на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ

3.1 Введение. Основные понятия и определения. Параметры тел.

1. Особенности основных видов автоматизации.
2. Принцип действия автоматической системы управления.
3. Как классифицируются автоматические системы управления.
4. Схемы и принцип работы микропроцессорной системы управления.
5. Основные источники и показатели технико-экономической эффективности автоматизации.

При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

3.2 Газовые смеси. Теплоемкость.

1. Характеристика ТП в АПК.
2. Виды воздействий на объект управления.
3. Структура и принцип управления.
4. Особенности автоматизации АПК.
5. Типовые технические решения при автоматизации ТП.

При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

3.3 Первый закон термодинамики. Исследование политропного и адиабатного процессов.

1. Необходимость применения математического моделирования при проектировании систем автоматики.
2. Принцип линеаризации управлений статики и динамики элементов (систем) автоматического управления.
3. Принцип определения динамических характеристик объекта управления.
4. Укажите необходимость и порядок определения передаточной функции объекта управления.

3.4 Исследование изобарного, изохорического и изотермического процессов. Исследование групп политропных процессов

1. Перечислите уровни деления электрических средств автоматики.
2. Принцип действия устройств для измерения давления и разрежения.
3. Принцип действия устройств для измерения температуры.
4. Принцип действия устройств для измерения уровня и расхода.
5. Принцип действия устройств для измерения перемещения и частоты вращения объектов.
6. Какую функцию выполняет автоматический регулятор.
7. Основные виды автоматических регуляторов.

При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

3.5 Второй закон термодинамики. Циклы Карно прямой и обратный. Свойства обратимых и необратимых циклов.

1. Какими показателями оцениваются свойство объекта и качество управления.
2. Критерии качества регулирования.
3. Методы синтеза одноконтурных и многоконтурных автоматических СР.
4. Как составляют структурные схемы автоматических СР объектов с запаздыванием и нестационарных объектов.
5. Как осуществляется синтез систем позиционного регулирования.

При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

3.6 Исследование идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания

1. Изложите особенности реальной работы МСА.
2. Объясните назначение систем автоматического контроля и управления режимами работы МСА.
3. Объясните принцип работы САК посевных аппаратов.
4. В чем заключается принцип работы САК уборочных комбайнов.
5. Каков принцип работы САУ положение рабочих органов МСА.
6. Как САУ управляет движением МСА.

При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

3.7 Циклы паросиловых установок. Влияние параметров пара на эффективность использования тепла

1. Назовите виды защитного грунта.
2. Какие показатели характеризуют защищенный грунт.
3. Какие способы используют для обогрева защищенного грунта.

4. Какие технологические процессы механизмируют и автоматизируют защищённом грунте.
5. Как происходит автоматическое управление температурой воздуха теплицы.
6. Как управляют температурой почвы.
7. Назначение и способ управления теплозащитным экраном теплицы.
8. Как автоматически управляют влажностью воздуха и почвы теплицы.
9. Как работает система автоматического управления температурой поливной воды.
10. Как работают автоматические системы управления концентрации и pH растворов минеральных удобрений в теплицах.
11. Для чего предназначены и как работают схемы автоматического управления подкормкой растений диоксидов углерода.
12. Какие параметры автоматизируют в гидропонных теплицах.
13. Какие параметры автоматизируют в парниках.

При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

3.8 Влажный воздух. Компрессоры

1. Какие процессы послеуборочной обработки зерна механизмируют и автоматизируют.
2. Автоматизация очистки и сортировки зерна.
3. По каким параметрам следует оптимизировать очистку и сортировку зерна.
4. Как осуществляют автоматизацию шахтных и барабанных сушилок.
5. Для чего предназначены бункеры активного вентилирования зерна.
6. Как работает теплогенератор сушилок.
7. Охарактеризуйте зерносушилку как объект автоматизации.

При подготовке к вопросам акцентировать внимание необходимо на ключевых моментах и на более сложных из них для лучшего запоминания.

4. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных домашних задания

Исходные данные для варианта решения задачи №1 студент выбирает последовательность процессов по последним двум цифрам варианта, а необходимые числовые значения по цифрам 1 и 2.

При расчёте каждого процесса определить:

1. Параметры начального и конечного состояния P , V , T .
2. Изменение внутренней энергии.
3. Работу процесса.
4. Теплоту участвующую в процессе.
5. Изменение энтропии в процессе

Для каждого процесса дать схему трансформации энергии. Построить диаграммы процессов в заданной последовательности в P - V и S - T координатах в масштабе.

Варианты последовательности процессов

№ п/п	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-1
1	T-con	S-con	P-con	V-con	S-con	пол
2	S-con	T-con	P-con	V-con	S-con	пол
3	P-con	V-con	T-con	S-con	P-con	пол
4	P-con	V-con	S-con	T-con	P-con	пол
5	V-con	T-con	S-con	V-con	P-con	пол
6	V-con	S-con	T-con	V-con	P-con	пол
7	P-con	T-con	S-con	V-con	P-con	пол
8	P-con	S-con	T-con	V-con	P-con	пол
9	P-con	T-con	S-con	V-con	P-con	пол
10	P-con	S-con	T-con	V-con	P-con	пол
11	V-con	T-con	S-con	P-con	V-con	пол
12	V-con	S-con	T-con	P-con	V-con	пол
13	T-con	S-con	V-con	P-con	S-con	пол
14	S-con	T-con	V-con	P-con	T-con	пол
15	V-con	P-con	S-con	T-con	P-con	пол
16	V-con	P-con	T-con	S-con	P-con	пол
17	V-con	T-con	S-con	P-con	V-con	пол
18	V-con	S-con	T-con	P-con	V-con	пол
19	P-con	V-con	S-con	T-con	P-con	пол
20	P-con	V-con	T-con	S-con	P-con	пол
21	V-con	S-con	P-con	T-con	V-con	пол
22	V-con	T-con	P-con	T-con	V-con	пол
23	S-con	V-con	T-con	V-con	P-con	пол
24	T-con	V-con	S-con	V-con	P-con	пол
25	S-con	P-con	V-con	T-con	V-con	пол
26	T-con	P-con	V-con	S-con	V-con	пол
27	P-con	T-con	V-con	S-con	V-con	пол
28	P-con	S-con	V-con	T-con	V-con	пол
29	V-con	T-con	P-con	S-con	V-con	пол
30	V-con	S-con	P-con	T-con	V-con	пол

Числовые значения вариантов

Вариант 1-2			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	0,6	0,7	0,8
t ₁ , °C	100	120	140
V ₁ /V ₂	2	1,9	1,8
V ₃ /V ₂	1,8	1,8	1,7
V ₄ /V ₃	2,5	2,2	2,4
P ₅ , МПа	4	5	4,5
V ₆ /V ₅	1,8	2	1,9
m, кг	4	4,5	5
Газ	O ₂	Воз.	N ₂

Вариант 3-4			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	3	3,2	3,4
t ₁ , °C	400	450	500
V ₁ /V ₂	1,5	1,6	1,7
P ₂ /P ₃	1,8	1,7	1,6
V ₄ /V ₃	2,2	2,1	2
V ₅ /V ₄	5	5,5	6
V ₆ /V ₅	2	2,2	2,4
m, кг	4,5	5	5,5
Газ	CO	CO ₂	Воз.

Вариант 5-6			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	1,5	2	2,5
t ₁ , °C	300	350	400
P ₂ /P ₁	2	2,1	2,2
V ₃ /V ₂	1,5	1,6	1,7
V ₄ /V ₃	1,6	1,7	1,5
P ₄ /P ₅	1,8	1,9	2
V ₅ /V ₆	1,7	1,6	1,8
m, кг	4,5	5	5,5
Газ	N ₂	CO	CO ₂

Вариант 7-10			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	3	3,2	3,4
t ₁ , °C	350	400	380
V ₂ /V ₁	1,6	1,7	1,8
V ₃ /V ₂	1,7	1,6	1,5
V ₄ /V ₃	1,5	1,7	1,6
P ₄ /P ₅	1,8	1,9	2
V ₅ /V ₆	2,5	2,6	2,8
m, кг	5	5,5	6
Газ	CO	Воз.	O ₂

Вариант 11-12			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	0,6	0,7	0,8
t ₁ , °C	150	160	170
P ₂ /P ₁	2	2,1	2,2
V ₂ /V ₃	1,6	1,7	1,8
V ₃ /V ₄	1,7	1,8	1,9
V ₄ /V ₅	1,5	1,6	1,7
P ₅ /P ₆	2,1	2	1,9
m, кг	5,5	4	4,5
Газ	O ₂	Воз.	N ₂

Вариант 13-14			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	0,7	0,8	0,9
t ₁ , °C	160	180	200
V ₁ /V ₂	1,6	1,7	1,5
V ₂ /V ₃	1,7	1,6	1,8
P ₄ /P ₃	1,8	1,9	2
V ₅ /V ₄	2,2	2,3	2,4
V ₆ /V ₅	1,8	1,9	2
m, кг	6	4	4,5
Газ	Воз.	O ₂	CO ₂

Вариант 15-16			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	2	2,5	3
t ₁ , °C	250	270	300
P ₂ /P ₁	1,8	1,7	1,6
V ₃ /V ₂	1,7	1,6	1,5
V ₄ /V ₃	1,6	1,7	1,8
V ₅ /V ₄	1,5	1,6	1,7
V ₅ /V ₆	3	2,8	2,6
m, кг	4	4,5	5
Газ	O ₂	Воз.	N ₂

Вариант 17-18			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	4	4,5	5
t ₁ , °C	500	550	600
P ₁ /P ₂	1,8	1,7	1,9
V ₃ /V ₂	1,5	1,6	1,7
V ₄ /V ₃	1,6	1,7	1,8
V ₅ /V ₄	1,7	1,6	1,5
P ₆ /P ₅	1,9	2	2,2
m, кг	4,5	5	5,5
Газ	N ₂	Воз.	O ₂

Вариант 19-20			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	2,5	3	3,5
t ₁ , °C	200	250	300
P ₃ /P ₂	2	2,2	2,4
V ₄ /V ₃	1,7	1,6	1,8
V ₂ /V ₁	1,8	1,7	1,6
V ₅ /V ₄	2,5	2,4	2,6
V ₅ /V ₆	2,5	2,4	2,7
m, кг	5	5,5	6
Газ	O ₂	CO	CO ₂

Вариант 21-22			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	5	4,5	4
t ₁ , °C	450	400	350
P ₁ /P ₂	2	1,9	1,8
V ₃ /V ₂	1,6	1,7	1,5
V ₄ /V ₃	1,5	1,6	1,7
V ₅ /V ₄	1,7	1,8	1,6
P ₆ /P ₅	2,2	2,1	2
m, кг	5,5	6	3
Газ	Воз.	CO	CO ₂

Вариант 23-24			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	0,6	0,7	0,8
t ₁ , °C	100	120	140
V ₂ /V ₁	2	1,9	1,8
P ₃ /P ₂	1,6	1,4	1,5
V ₄ /V ₃	1,7	1,8	1,6
P ₅ /P ₄	2	1,9	1,8
V ₅ /V ₆	1,6	1,8	1,7
m, кг	3,5	4	4,5
Газ	CO ₂	N ₂	O ₂

Вариант 25-26			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	4	4,5	5
t ₁ , °C	600	500	400
V ₂ /V ₁	2	1,9	1,8
V ₃ /V ₂	1,6	1,7	1,5
P ₃ /P ₄	1,5	1,6	1,4
V ₅ /V ₄	1,8	1,7	1,6
P ₆ /P ₅	4	3,5	3
m, кг	4	4,5	5
Газ	CO	Воз.	N ₂

Вариант 27-28			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	0,8	0,7	0,6
t ₁ , °C	220	200	180
V ₂ /V ₁	1,8	1,9	2
V ₃ /V ₂	1,7	1,8	1,9
P ₄ /P ₃	2,5	2,6	2,7
V ₄ /V ₅	1,7	1,6	1,5
P ₆ /P ₅	2	2,1	2,2
m, кг	4,5	4	3,5
Газ	Воз.	CO	CO ₂

Вариант 29-30			
Парам.	1	2	3
P ₁ , МПа	3	2,5	2
t ₁ , °C	300	250	200
P ₁ /P ₂	1,5	1,6	1,7
V ₃ /V ₂	1,6	1,7	1,8
V ₄ /V ₃	1,7	1,6	1,5
V ₄ /V ₅	1,8	1,9	2
P ₆ /P ₅	2,5	2,6	2,7
m, кг	5	4,5	4
Газ	O ₂	N ₂	CO ₂

Исходные данные для решения задачи №2 студент выбирает наименование цикла ДВС по последней цифре варианта, а числовые значения по сумме цифр варианта выбранного цикла ДВС.

Исходные данные для выбора названия цикла

Таблица 1

Последние цифры шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наименование цикла	ДВС комб	ДВС P-Con	ДВС V-Con	ДВС комб	ДВС V-Con	ДВС P-Con	ДВС комб	ДВС P-Con	ДВС V-Con	ДВС комб
Начальная температура, °C	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Род газа	CO	CO ₂	O ₂	N ₂	Возд.	O ₂	Возд.	CO	CO ₂	N ₂
Начальное давление, МПа	0,094	0,095	0,096	0,097	0,098	0,099	0,1	0,094	0,095	0,096

Параметры цикла с комбинированным подводом тепла

Таблица 2

Сумма 2х цифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ϵ	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	16,7	16,3	15,3	14,7	14,3	15	15,6	15,8	16	16,2	16,6
λ	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,6	1,65	1,7	1,75	1,8	1,55	1,5	1,45
ρ	1,9	1,85	1,8	1,75	1,7	1,9	1,85	1,8	1,75	1,7	1,9	1,85	1,8	1,75	1,7	1,8	1,9	2

Параметры цикла с подводом тепла при P-const

Таблица 3

Сумма 2х цифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ϵ	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9	11	11,2	11,4	11,6	11,8	12	12,2	12,4	12,6	12,8	13	13,2	13,4
ρ	2	1,9	1,8	1,7	1,6	2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2	1,9

Параметры цикла с подводом тепла при V-const

Таблица 4

Сумма 2х цифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

ε	6,2	6,4	6,6	6,8	7	7,2	7,4	7,6	7,8	8	8,2	8,4	8,6	8,8	9	6,5	6,7	7,3
ρ	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6

Задание

-

- **Задача 1.** По исходным данным произвести расчет последовательно протекающих термодинамических процессов "1-2", "2-3", "3-4", "4-5", "5-6" и "6-1". При расчете каждого процесса определить: 1. Параметры начального и конечного состояния P, V, T. 2. Изменение внутренней энергии. 3. Теплоту участвующую в процессе. 4. Работу процесса. 5. Изменение энтропии в процессе.

Для каждого процесса дать схему трансформации энергии. Построить диаграммы процессов в заданной последовательности в P-V и S-T координатах.

- Задача 2.** Определить параметры рабочего тела в характерных точках идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания с выбранным подводом теплоты или газотурбинной установки если известны давление P, температура t рабочего тела в начале сжатия. Параметры цикла, (E, I, p) заданы. Определить работу получаемую от цикла, его термический КПД, теплоты в цикле и изменение энтропии отдельных процессов цикла. За рабочее тело принять воздух, считая теплоемкость его в расчетном интервале температур постоянной. Построить на миллиметровке в масштабе цикл в координатах P-V, T-S.

Из задания на контрольную работу записываете исходные данные:

Последовательность процессов

1 – 2 2 – 3 3 – 4 4 – 5 5 – 6 6 – 1

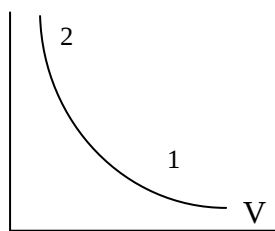
T – con S – con P – con V – con S – con non

$P_1 = 0,6 \text{ МПа}$ $t_1 = 100^\circ \text{C}$ $V_1/V_2 = 2$ $V_2/V_3 = 1,8$ $V_4/V_3 = 2,5$ $V_5 = 4$

$V_6/V_5 = 1,8$ $m = 4 \text{ кг}$ Газ – O_2

По данным изобразите процесс графически в системе координат PV и приступаете к определению параметров.

P



В точке 1 неизвестен объем, который находим из уравнения $P_1 V_1 = m R T_1$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} \text{ для чего определяем газовую постоянную для нашего примера } R_{O_2} = \frac{8314}{M_{O_2}} = \frac{8314}{32} = 260 \text{ Дж / КГ К}$$

$$V_1 = \frac{4 \cdot 260 \cdot 373}{0,6 \cdot 10^6} = 0,643 \text{ м}^3$$

Из данных $\frac{V_1}{V_2} = 2$ определяем объём в точке 2

$$V_2 = \frac{V_1}{2} = \frac{0,646}{2} = 0,323 \text{ м}^3$$

Из уравнения $P_1 V_1 = P_2 V_2$ определяем давление в точке 2

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ МПа}$$

Определяем работу в процессе

$$L = mRT_1 \ln V_1/V_2 = 4 \cdot 0,26 \cdot 373 \ln 2 = 268,9 \text{ кДж}$$

Определяем изменение энтропии в процессе

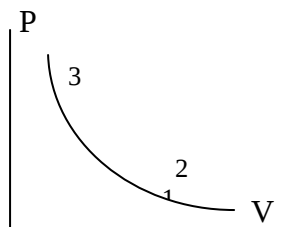
$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T_1} = \frac{268,9}{373} = 0,72 \text{ кДж/К}$$

Изображаем схему трансформации энергии в процессе

$$Q \rightleftharpoons L \quad U = 0$$

Дальше изображаем графически в координатах PV второй процесс и производим вычисления.

По данным задачи $\frac{V_2}{V_3} = 1,8$ определяем объём в точке 3



$$V_3 = \frac{V_2}{1,8} = \frac{0,323}{1,8} = 0,179 \text{ м}^3$$

Давление в точке 3 определяем из уравнения

$$P_2 V_2^K = P_3 V_3^K \quad P_3 = P_2 \cdot \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^K = 1,2 \cdot 1,8^{1,4} = 2,73 \text{ МПа}$$

$K = 1,4$ показатель адиабаты для кислорода

Из уравнения $P_3 V_3 = mRT_3$ определяем температуру в точке 3

$$T_3 = \frac{P_3 V_3}{mR} = \frac{2,73 \cdot 10^6 \cdot 0,179}{4 \cdot 260} = 470,3 \text{ К}$$

Работу в процессе определяем по формуле

$$L = \frac{mR(T_3 - T_2)}{K - 1} = \frac{4 \cdot 0,26(470,3 - 373)}{1,4 - 1} = 253 \text{ кДж}$$

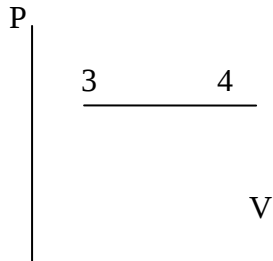
Изменение энтропии в процессе $S_3 - S_2 = 0$

Изображаем схему трансформации энергии

$$Q = 0 \quad U$$

L ↗

Дальше изображаем графически в координатах PV третий процесс и производим вычисления.



По данным задачи $\frac{V_4}{V_3} = 2,5$ определяем объём в точке 4

$$V_4 = 2,5 V_3 = 0,179 \cdot 2,5 = 0,447 \text{ м}^3$$

Температуру в точке 4 определяем из соотношения $\frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3}$ $T_4 = \frac{V_4 \cdot T_3}{V_3} = 2,5 \cdot 470,3 = 1175,7$ К

Работу в процессе определяем по формуле

$$L = m R (T_4 - T_3) = 4 \cdot 0,26 (1175,7 - 470,3) = 733,6 \text{ кДж}$$

Изменение внутренней энергии в процессе определяем по формуле

$$U = m C_V (T_4 - T_3) \quad C_V - \text{теплоемкость кислорода определяем}$$

$$C_V = \frac{M C_V}{M_{O_2}} = \frac{20,9}{32} = 0,653 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$$

$$U = 4 \cdot 0,653 (1175,7 - 470,3) = 1842,5 \text{ кДж}$$

Теплоту, участвующую в процессе определяем

$$Q = m C_p (T_4 - T_3) \quad C_p - \text{теплоемкость кислорода при постоянном давлении определяем}$$

$$C_p = \frac{M C_p}{M_{O_2}} = \frac{29,3}{32} = 0,916 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$$

$$Q = 4 \cdot 0,916 (1175,7 - 470,3) = 2584,6 \text{ кДж}$$

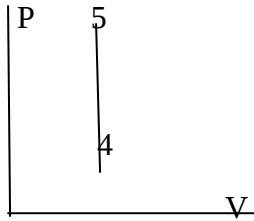
Изменение энтропии в процессе

$$S_4 - S_3 = m C_p \ln \frac{T_4}{T_3} = 4 \cdot 0,916 \ln 2,5 = 3,36 \text{ кДж /к}$$

Изображаем схему трансформации энергии

$$2584,6 \text{ Q} \begin{array}{l} \longrightarrow U \text{ } 1842,5 \\ \searrow L \text{ } 733,6 \end{array}$$

Дальше изображаем графически в координатах PV четвертый процесс и производим вычисления



По условию задачи $P_5 = 4 \text{ МПа}$

Температуру в точке 5 определяют из соотношения $\frac{P_5}{P_4} = \frac{T_5}{T_4}$ $T_5 = \frac{P_5 \cdot T_4}{P_4} = \frac{4 \cdot 1175,7}{2,73} = 1722,6 \text{ К}$

Изменение внутренней энергии в процессе определением

$$U = m C_V (T_5 - T_4) = 4 \cdot 0,653 (1722,6 - 1175,7) = 1428,6 \text{ кДж}$$

Изменение энтропии в процессе

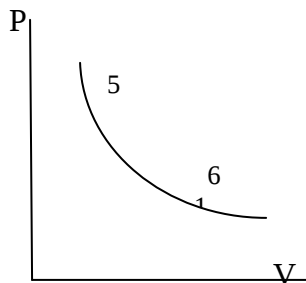
$$S_5 - S_4 = m C_V \ln \frac{T_5}{T_4} = 4 \cdot 0,653 \ln 1722,6 / 1175,7 = 1 \text{ кДж/к}$$

Изображаем схему трансформации энергии

$$Q \rightarrow U$$

$$L=0$$

Дальше изображаем графически в координатах PV пятый процесс и производим вычисления



По условию задачи $\frac{V_6}{V_5} = 1,8$

Определяем объём в точке 6

$$V_6 = 1,8 V_5 = 1,8 \cdot 0,447 = 0,804 \text{ м}^3$$

Определяем давление в точке 6 из уравнения $P_5 V_5^K = P_6 V_6^K$

$$P_6 = P_5 \left(\frac{V_5}{V_6} \right)^K = 4 \cdot \left(\frac{1}{1,8} \right)^{1,4} = 1,756 \text{ МПа}$$

Температуру в точке 6 определяем из уравнения $P_6 V_6 = m R T_6$

$$T_6 = \frac{P_6 V_6}{m R} = \frac{1,756 \cdot 10^6 \cdot 0,804}{4 \cdot 260} = 1358,8 \text{ К}$$

Работа в процессе определяется по формуле

$$L = \frac{m R (T_5 - T_6)}{K - 1} = \frac{4 \cdot 0,26 (1722,6 - 1358,8)}{1,4 - 1} = 945,9 \text{ кДж}$$

Изменение энтропии в процессе

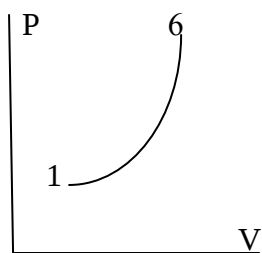
$$S_6 - S_5 = 0$$

Схема трансформации энергии в процессе

$$Q = 0 \quad U$$

L ↙

Дальше изображаем графически в координатах PV процесс 6-1



Определяем показатель

$$n = \frac{\lg P_6 / P_1}{\lg V_1 / V_6} = \frac{\lg 1,756 / 0,6}{\lg 0,646 / 0,804} = -4,9$$

Работу определяем по формуле

$$L = \frac{m R (T_6 - T_1)}{n - 1} = \frac{4 \cdot 0,26 (1358,8 - 373)}{-4,9 - 1} = 173,7 \text{ кДж}$$

Изменение внутренней энергии в процессе

$$U = m C_V (T_6 - T_1) = 4 \cdot 0,653 (1358,8 - 373) = 2574,8 \text{ кДж}$$

Теплота в процессе определяется по формуле

$$Q = m C_V \frac{n - k}{n - 1} (T_6 - T_1) = 4 \cdot 0,653 \frac{-4,9 - 1,4}{-4,9 - 1} (1358,8 - 373) = 2749,5 \text{ кДж}$$

Изменение энтропии в процессе

$$S_1 - S_6 = m C_V \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_6}{T_1} = 4 \cdot 0,653 \frac{-4,9 - 1,4}{-4,9 - 1} \ln \frac{1358,8}{373} = 3,6 \text{ кДж/к}$$

Схема трансформации энергии в процессе

$$2749,5^\circ \quad \leftarrow U \quad 2574,9$$

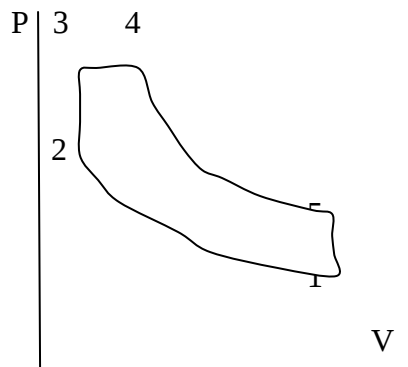
↙ L 173,7

Проверка вычислений $\sum S = \Delta (S_2 - S_1) + (S_3 - S_2) + (S_4 - S_3) + (S_5 - S_4) + (S_6 - S_5) + (S_1 - S_6) = -0,72 + 0 + 3,36 + 1 + 0 - 3,6 = -4,32 + 4,36 = 0$

По результатам расчётов строим на миллиметровке в масштабе все процессы в координатах PV и ST.

Задача 2

По заданию контрольной работы изображаем цикл в координатах PV и записываем исходные данные



$$P_1 = 0,096 \text{ МПа} \quad t_1 = 17^\circ \text{ C} \quad E = 15 \quad \lambda = 1,6 \quad \rho = 1,8 \text{ газ-воздух}$$

Определяем параметры в характерных точках

Для точки 1

$$P_1 V_1 = R T_1 \quad V_1 = \frac{R T_1}{P_1} \quad \text{определяем газовую постоянную воздуха}$$

$$R_6 = \frac{8314}{M_6} = \frac{8314}{29} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$

$$V_1 = \frac{287 \cdot 290}{0,096 \cdot 10^6} = 0,867 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Для точки 2

$$V_2 = \frac{V_1}{E} = \frac{0,867}{15} = 0,0578 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$P_2 = P_1 \cdot E^K = 0,096 \cdot 15^{1,4} = 4,25 \text{ МПа}$$

$$T_2 = T_1 \cdot E^{K-1} = 290 \cdot 15^{0,4} = 856,7 \text{ К}$$

Для точки 3

$$V_3 = 0,0578 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$P_3 = P_2 \cdot \lambda = 4,25 \cdot 1,6 = 6,8 \text{ МПа}$$

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = 856,7 \cdot 1,6 = 1370,7 \text{ К}$$

Для точки 4

$$V_4 = V_3 \cdot \rho = 0,0578 \cdot 1,8 = 0,104 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \rho = 1370,7 \cdot 1,8 = 2467 \text{ К}$$

Для точки 5

$$V_5 = 0,867 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$P_5 = P_1 * \lambda * \rho^k = 0,096 * 1,6 * 1,8^{1,4} = 0,35 \text{ МПа}$$

$$T_5 = T_1 * \lambda * \rho^K = 290 * 1,6 * 1,8^{1,4} = 1056,6 \text{ К}$$

Определяем теплоту в цикле

Подведенная теплота определяется по формуле

$$q_1 = C_V(T_3 - T_2) + C_P(T_4 - T_3) = 0,72(1370,7 - 856,7) + 1,01(2467 - 1370,7) = 1477,3 \text{ кДж/кг}$$

$$C_V = \frac{M C_V}{M b} = \frac{20,9}{29} = 0,72 \text{ кДж/кг К} \quad C_P = \frac{M C_P}{M_0} = \frac{29,3}{29} = 1,01 \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}$$

Отведенная теплота определяется по формуле

$$q_2 = C_V(T_5 - T_1) = 0,72(1056,6 - 290) = 551,9 \text{ кДж/кг}$$

Полезноиспользованная теплота

$$q = q_1 - q_2 = 1477,3 - 551,9 = 925,4 \text{ кДж/кг}$$

Термический КПД цикла определяется

$$\eta_t = \frac{q}{q_1} = \frac{925,4}{1477,3} = 0,626$$

Работа в цикле определяется

$$\text{Для сжатия } l_{cm} = \frac{R(T_2 - T_1)}{K - 1} = \frac{0,287(856,7 - 290)}{1,4 - 1} = 406,6 \text{ кДж/кг}$$

$$\text{Для расширения } l_p = R(T_4 - T_3) + \frac{R(T_4 - T_5)}{K - 1} = 0,287(2467 - 1370,7) + \frac{0,287(2467 - 1056,6)}{1,4 - 1} = 1326,5 \text{ кДж/кг}$$

Полезная работа в цикле определяется

$$l_{ц} = l_p - l_{cm} = 1326,5 - 406,6 = 920 \text{ кДж/кг}$$

Для построения графика цикла в координатах PV задаемся углом $\alpha = 20^\circ$ $\text{tg} \beta = (1 + \text{tg } 20)^{1,4} - 1 = 0,54$ и по способу Брауэра строим на миллиметровке цикл в масштабе

Для построения графика цикла в координатах ST определяем

$$S_1 - S_0 = C_V \ln \frac{T_1}{273} = 0,72 \ln \frac{290}{273} = 0,043 \text{ кДж/кг К}$$

$$S_3 - S_2 = C_V \ln \frac{T_3}{T_2} = 0,72 \ln 1,6 = 0,043 \text{ кДж/кг К}$$

$$T_3' = 1000 \text{ К} \quad S_3' - S_2 = C_V \ln \frac{T_3'}{T_2} = 0,72 \ln \frac{1000}{856,7} = 0,11 \text{ кДж/кг К}$$

$$S_4 - S_{23} = C_P \ln \frac{T_4}{T_3} = 1,01 \ln 1,8 = 0,59 \text{ кДж/кг К}$$

$$T_4' = 2000 \text{ К} \quad S_4' - S_3 = C_P \ln \frac{T_4'}{T_3} = 1,01 \ln \frac{2000}{1370,7} = 0,27 \text{ кДж/кг К}$$

$$T_5' = 800 \text{ К} \quad S_5' - S_{31} = C_P \ln \frac{T_5'}{T_1} = 0,72 \ln \frac{900}{290} = 0,73 \text{ кДж/кг К}$$

