

**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 заочная**

## **СОДЕРЖАНИЕ**

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

# 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 (СИБ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1.1.	<b>Тема 1</b> Введение. Основные понятия и определения. Параметры тел.		x	6	2	2
1.2.	<b>Тема 2</b> Газовые смеси. Теплоемкость.		x	6	2	2
1.3	<b>Тема 3</b> Первый закон термодинамики. Исследование политропного и адиабатного процессов.		x	6	2	2
1.4	<b>Тема 4</b> Исследование изобарного, изохорического и изотермического процессов. Исследование групп политропных процессов		x	6	4	4
1.5	<b>Тема 5</b> Второй закон термодинамики. Циклы Карно прямой и обратный. Свойства обратимых и необратимых циклов.		x	6	2	2
2.1.	<b>Тема 6</b> Исследование идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания		x	4	2	2

2.2.	<b>Тема 7</b> Циклы паросиловых установок. Влияние параметров пара на эффективность использования тепла		х	4	2	2
2.3	<b>Тема 8</b> Влажный воздух. Компрессоры		х	79	2	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 <sub>1</sub> , МПа	0,6	0,7	0,8
t <sub>1</sub> , °C	100	120	140
V <sub>1</sub> /V <sub>2</sub>	2	1,9	1,8
V <sub>3</sub> /V <sub>2</sub>	1,8	1,8	1,7
V <sub>4</sub> /V <sub>3</sub>	2,5	2,2	2,4
P <sub>5</sub> , МПа	4	5	4,5
V <sub>6</sub> /V <sub>5</sub>	1,8	2	1,9
m, кг	4	4,5	5
Газ	O <sub>2</sub>	Воз.	N <sub>2</sub>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Возд.	O <sub>2</sub>	Возд.	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
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
$\epsilon$	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
$\lambda$	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
$\rho$	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
$\epsilon$	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
$\rho$	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
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$\varepsilon$	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
$\rho$	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

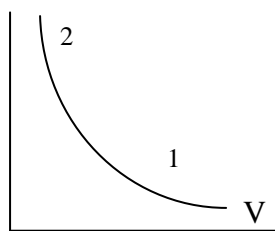
T – con      S – con      P – con      V – con      S – con      non

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

$V_6/V_5 = 1,8$        $m = 4 \text{ кг}$       Газ –  $\text{O}_2$

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

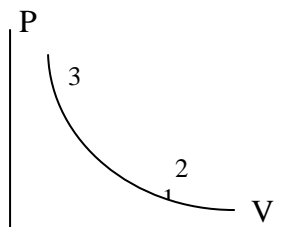
$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T_1} = \frac{268,9}{373} = 0,72 \text{ кДж/К}$$

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

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

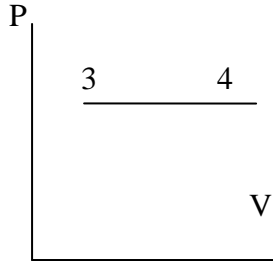
Изменение энтропии в процессе  $S_3 - S_2 = 0$

Изображаем схему трансформации энергии

$$Q = 0 \quad U$$

$L \nearrow$

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

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

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

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

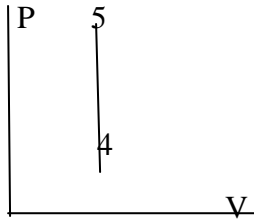
Изменение энтропии в процессе

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

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

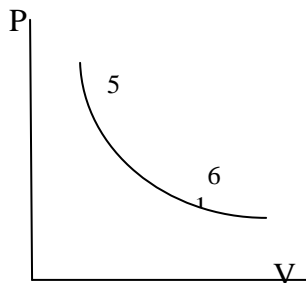
$$S_5 - S_4 = m C_V \ln \frac{T_5}{T_4} = 4 \cdot 0,653 \ln 1722,6 / 1175,7 = 1 \text{ кДж/к}$$

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

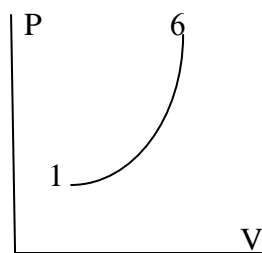
$$S_6 - S_5 = 0$$

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

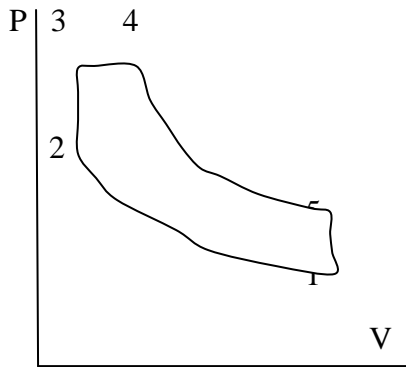
Проверка вычислений  $\sum S = (S_2 - S_1) + (S_3 - S_2) + (S_4 - S_3) + (S_5 - S_4) + (S_6 - S_5) + (S_1 - S_6) = -0,72 + 0 + 3,36 + 1 + 0 - 3,6 = -4,32 + 4,36 = 0$

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

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

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

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

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

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

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

