

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

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

**Б1.Б1.18 Теплотехника**

**Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Организация самостоятельной работы.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных домашних заданий.....</b>	<b>5</b>
2.1 Темы индивидуальных домашних заданий.....	5
2.1 Содержание индивидуальных домашних заданий.....	5
2.3 Порядок выполнения заданий.....	5
2.4 Пример выполнения задания.....	6
<b>3. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов.....</b>	<b>14</b>
<b>4. Методические рекомендации по подготовке к занятиям.....</b>	<b>15</b>
4.1 Введение. Основные понятия и определения. Параметры тел.....	15
4.2 Газовые смеси. Теплоемкость.....	15
4.3 Первый закон термодинамики. Исследование политропного и адиабатного процессов.....	15
4.4 Исследование изобарного, изохорического и изотермического процессов. Исследование групп политропных процессов.....	15
4.5 Второй закон термодинамики. Циклы Карно прямой и обратный. Свойства обратимых и необратимых циклов.....	15
4.6 Исследование идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания .....	16
4.7 Циклы паросиловых установок. Влияние параметров пара на эффективность использования тепла.....	16
4.8 Влажный воздух. Компрессоры .....	16

# 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		1	2
1.2.	<b>Тема 2</b> Газовые смеси. Теплоемкость.		x	6	1	2
1.3	<b>Тема 3</b> Первый закон термодинамики. Исследование политропного и адиабатного процессов.		x	6	1	2
1.4	<b>Тема 4</b> Исследование изобарного, изохорического и изотермического процессов. Исследование групп политропных процессов		x	6	2	4
1.5	<b>Тема 5</b> Второй закон термодинамики. Циклы Карно прямой и обратный. Свойства обратимых и необратимых циклов.		x		1	2
2.1.	<b>Тема 6</b> Исследование идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания		x	18	1	2
2.2.	<b>Тема 7</b> Циклы паросиловых установок. Влияние параметров пара на эффективность использования тепла		x		1	2
2.3	<b>Тема 8</b> Влажный воздух. Компрессоры		x		1	2

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ**

Индивидуальные домашние задания выполняются в форме расчетно-графической работы.

### **2.1 Темы индивидуальных домашних заданий**

1. Исследование термодинамических процессов
2. Определение параметров рабочего тела в характерных точках идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания или газотурбинной установки.

### **2.2 Содержание индивидуальных домашних заданий**

Индивидуальное домашнее задание 1. Исследование термодинамических процессов. Индивидуальное домашнее задание 2. Определение параметров рабочего тела в характерных точках идеального цикла поршневого двигателя внутреннего сгорания или газотурбинной установки.

Выборка заданий. Каждый студент при выполнении исследовать термодинамический процесс и определить параметры рабочего тела. Задание, схемы и задания представлены ниже.

### **2.3 Порядок выполнения заданий**

- 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,  $(E, l, p)$  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  $P-V$ ,  $T-S$ .
- Задача 3.** В паросиловой установке, работающей при начальных параметрах  $P$  Мпа, температуре  $t$ ,  $P$  Мпа введен вторичный перегрев пара при  $P$  Мпа до начальной температуры  $t - t$ . Определить термический КПД цикла без перегрева пара и с вторичным перегревом и сравнить.
- Задача 4.** Определить потери тепла за 1 час с 1 м длины горизонтально расположенной цилиндрической трубы, охлаждаемой свободным потоком воздуха, если известны наружный диаметр  $d$  трубы, температура стенки трубы -  $t$  и температура воздуха  $t$  в помещении.
- Задача 5.** Определить площадь поверхности нагрева газодынного рекуперативного теплообменника, работающего по противоточной схеме. Греющий теплоноситель - дымовые газы с начальной температурой  $t$  и конечной  $t$ .

Расходы воды через теплообменник -  $G$ , начальная температура воды  $t$ , конечная -1. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы - и от стенки трубы к воде. Теплообменник выполнен из стальных труб с наружная диаметром  $d=50$  мм и толщиной - 4 мм. Коэффициент теплопроводности стали - 62 Вт/м К. Стенку считать чистой с обеих сторон.

Определите также площадь поверхности теплообменника по прямоточной схеме и сохранении остальных параметров неизменными.

Для обеих схем движения теплоносителей показать без расчёта, графики изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообменника Указать преимущества, противоточной схемы.

## 2.4 Пример выполнения задания

Из задания на контрольную работу записываете исходные данные:

Последовательность процессов

1 – 2      2 – 3      3 – 4      4 – 5      5 – 6      6 – 1

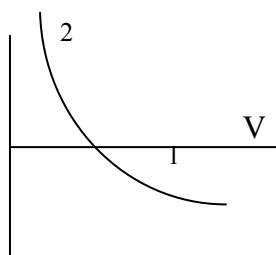
T – con      S – con      P – con      V – con      S – con      non

$P_1 = 0,6$  МПа       $t_1 = 100$  °C       $V_1/V_2 = 2$        $V_2/V_3 = 1,8$        $V_4/V_3 = 2,5$        $V_5 = 4$

$V_6/V_5 = 1,8$        $m = 4$  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  $P_1 V_1 = mRT_1$

$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}$  для чего определяем газовую постоянную для нашего примера  $R_{O_2} = \frac{8314}{M_{O_2}} =$

$\frac{8314}{32} = 260$  Дж /Кг К

$V_1 = \frac{4 \cdot 260 \cdot 373}{0,6 \cdot 10^6} = 0,643$  м<sup>3</sup>

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

$V_2 = \frac{V_1}{2} = \frac{0,646}{2} = 0,323$  м<sup>3</sup>

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

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

Определяем работу в процессе

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

Определяем изменение энтропии в процессе

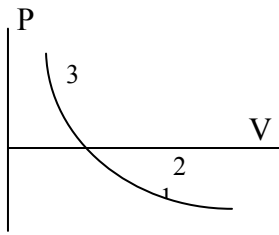
$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T_1} = \frac{268,9}{373} = 0,72$  кДж/к

Изображаем схему трансформации энергии в процессе

$Q \leftarrow L$        $U = 0$

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

По данным задачи  $\frac{V_2}{V_3} = 1,8$  определяем объем 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

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

$K = 1,4$  показатель адиабаты для кислорода

Из уравнения  $P_3 V_3 = m R T_3$  определяем температуру в точке 3

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

Работу в процессе определяем по формуле

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

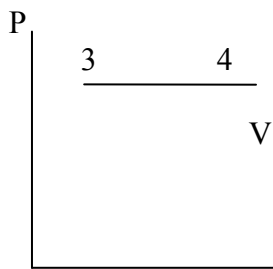
Изменение энтропии в процессе  $S_3 - S_2 = 0$

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

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

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

К

Работу в процессе определяем по формуле

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

Изменение внутренней энергии в процессе определяем по формуле

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

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

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

Теплоту, участвующую в процессе определяем

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

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

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

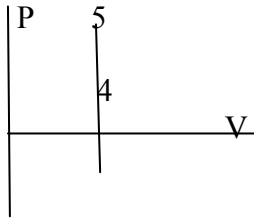
Изменение энтропии в процессе

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

Изображаем схему трансформации энергии

$$2584,6 \text{ Q} \xrightarrow{\Delta 733,6} U \text{ 1842,5}$$

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  $\frac{P_5}{P_4} = \frac{T_5}{T_4}$   $T_5 = \frac{P_5 * T_4}{P_4} = \frac{4 * 1175,7}{2,73} = 1722,6 \text{ К}$

Изменение внутренней энергии в процессе определением

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

Изменение энтропии в процессе

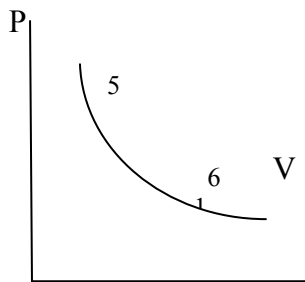
$$S_5 - S_4 = m C_v \ln \frac{T_5}{T_4} = 4 * 0,653 \ln 1722,6 / 1175,7 = 1 \text{ кДж/к}$$

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

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

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

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

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

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

Работа в процессе определяется по формуле

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

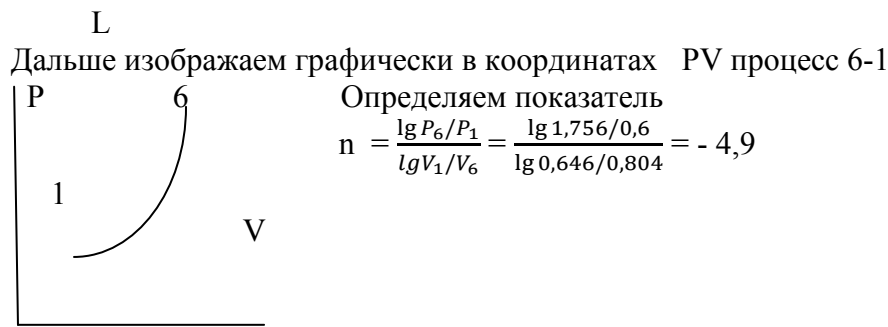
Изменение энтропии в процессе

$$S_6 - S_5 = 0$$

Схема трансформации энергии в процессе

$$Q = 0 \quad U$$





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

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

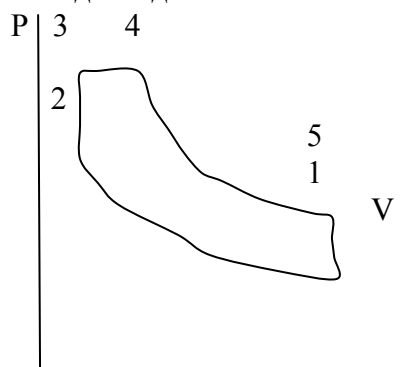
$$\nwarrow L \quad 173,7$$

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



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

Определяем параметры в характерных точках

Для точки 1

$P_1 V_1 = R T_1$     $V_1 = \frac{R T_1}{P_1}$  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

$$V_5 = 0,867 \text{ м}^3/\text{кг}$$

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

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

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  $\alpha = 20^\circ \text{С}$   $\text{tg} \beta = (1 + \text{tg } 20)^{1,4} - 1 = 0,54$  и по способу Брауэра строим на миллиметровке цикл в масштабе

Для построения графика цикла в координатах ST определяем

$$S_1 - S_0 = C_V \ln \frac{T_1}{T_3} = 0,72 \ln \frac{290}{273} = 0,043 \text{ кДж/кг К}$$

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

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

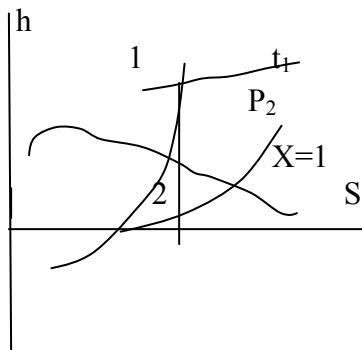
$$S_4 - S_{23} = C_P \ln \frac{T_4}{T_3} = 1,01 \ln 1,8 = 0,59 \text{ кДж/кг К}$$

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

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

Задача 3

Для решения третьей задачи контрольной работы изображаем цикл Ренкина в координатах h-S водяного пара



В цикле Ренкина КПД определяется

по формуле

$$\eta_t = \frac{n_1 - n_2}{n_1 - n_{nb}}$$

Где  $h_1$  - энтальпия начального состояния пара определенная на пересечении изобары  $P_1$  и изотермы  $t_1$

$h_2$  - это энтальпия конечного состояния пара определяемая на пересечении адиабаты 1-2 и изобары  $P_2$

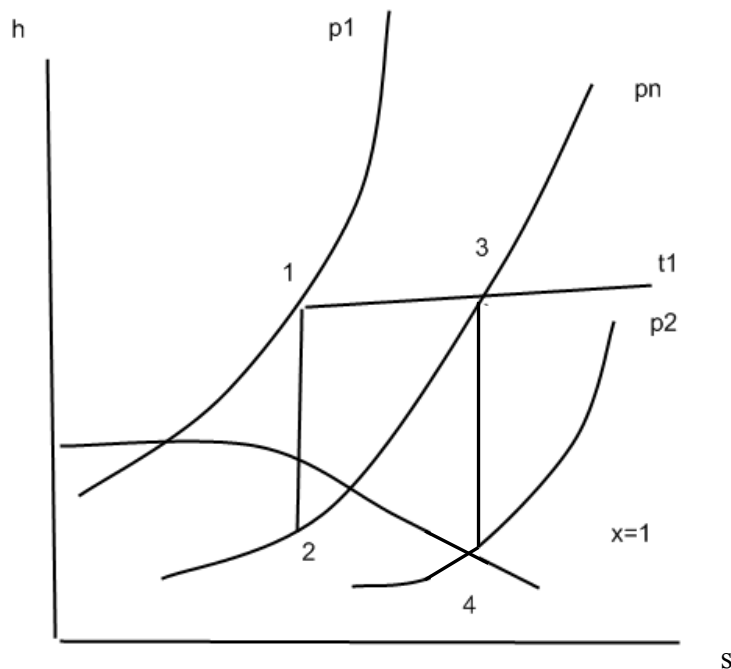
$h_{пв}$  - энтальпия питательной воды определяемая давлением  $P_2$

Для  $P_1 = 10$  МПа и  $t_1 = 600$  °С  $P_2 = 0.05$  МПа по диаграмме h-s водяного пара находим

$h_1 = 3620$  кДж/кг  $h_2 = 2400$  кДж/кг  $h_{пв} = 340$  кДж/кг

$$\eta_t = \frac{3620 - 2400}{3620 - 340} = 0,372$$

Изображаем цикл с повторным перегревом пара в координатах h-s водяного пара



В цикле с повторным перегревом пара кпд определяется по формуле

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{h_1 + (h_3 - h_2) - h_{пв}}$$

где  $h_2$  - энтальпия пара на лопатках первой ступени турбины определяется на пересечении адиабаты 1-2 и изобары  $P_п$

$h_3$  - энтальпия пара в пароперегревателе определяемая на пересечении изобары  $P_п$  и изотермы  $t_1$

$h_4$ -энтальпия пара на лопатках второй ступени турбины определяемая на пересечении адиабаты 3-4 и изобары  $P_2$

для  $P_{п}=2_{мпе}$  по диаграмме  $h-s$  водяного пара находим

$h_2=3100\text{кДж/кг}$   $h_3=3690\text{кДж/кг}$   $h_4=2680\text{кДж/кг}$

$$\eta_t = \frac{(3620-3100)+(3640-2680)}{3620+(3600-3100)-340} = 0,405$$

по результатам расчетов видим, что цикл с повторным перегревом пара более экологичен чем цикл Ренкина, так как

$$\eta_t = 0.405 > \eta_t = 0.372$$

#### Задача 4

В четвертой задаче контрольной работы потери тепла с 1м. длины горизонтально расположенной цилиндрической трубы за 1 час определяем по формуле

$$Q = \alpha A (t_{ст} - t_{в}) * T$$

Где  $\alpha$ -коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к окружающему воздуху,  $\text{Вт/м}^2\text{гр}$

$A$ -площадь теплоотдачи,  $\text{м}^2$

$t_{ст}$ -температура стенки трубы,  $^{\circ}\text{C}$

$t_{в}$ -температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$

$T$ -время теплоотдачи,  $\text{C}$

Коэффициент теплоотдачи определяем по формуле

$$\alpha = \frac{Nu * \lambda}{d}$$

где  $Nu$ -критерий теплового подобия Нуссельта

$\lambda$ -коэффициент теплопроводности воздуха при  $t_{ср}$  определяем по таблице сухого воздуха

$$\text{если } t_{ст}=175^{\circ}\text{C} \quad t_{в}=25^{\circ}\text{C} \text{ то } t_{ср} = \frac{t_{ст}+t_{в}}{2} = \frac{175+25}{2} = 100^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda_{100} = 3.21 * 10^{-2} \text{Вт/мгр}$$

критерий теплового подобия Нуссельта определяем по формуле

$$Nu = 0.47 (Gr)^{0.25}$$

Критерий Грасгофа определяем по формуле

$$Gr = \frac{\beta d^3 g \Delta t}{\nu^2}$$

Где

$$\beta = \frac{2}{T_{ст} + T_{в}} = \frac{2}{448 + 298} = \frac{1}{373}$$

$$\Delta t = t_{ст} - t_{в} = 175 - 25 = 150^{\circ}\text{C}$$

$\nu$ -кинетическая вязкость воздуха при  $t_{ср}$  определяем по таблице сухого воздуха

$$\nu_{100} = 23/13 * 10^{-6} \text{м}^2/\text{с} \quad d = 210 \text{мм}$$

$$Gr = \frac{0.21^3 * 9.8 * 150}{373 (23.13 * 10^{-6})^2} = 68.22 * 10^6$$

Критерий Нуссельта

$$Nu = 0.47 (68.22 * 10^6)^{0.25} = 42.71$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \frac{42.71 * 3.21 * 10^{-2}}{0.21} = 6.53 \text{Вт/м}^2\text{гр}$$

потери тепла с 1 м трубы за 1 час составляет

$$Q = 6.53 * 3.14 * 0.21 * 150 * 3.6 = 2325 \text{кДж}$$

#### Задача 5

Для определения площади рекуперативного теплообменника необходимо знать

количество тепла передаваемого от дымовых газов к воде. Количество тепла полученное водой от газов определяем по формуле

$$Q = m c_p (t_b'' - t_b')$$

Где m-секундный расход воды через теплообменник, кг/с

Ср-массовая теплоемкость воды  $C_p = 4190$  Дж/кгК

$t_b'', t_b'$ -температуры выходящей и входящей воды в теплообменник, °С

$$Q = \frac{2400}{3600} * 4190 (96 - 40) = 156426 \text{ Вт}$$

Площадь теплообменника определяем по формуле

$$Q = k A \Delta t$$

Где k-коэффициент теплопередачи от газов к воде, Вт/мК

A-площадь теплообменника, м<sup>2</sup>

$\Delta t$ =средний температурный напор, °С

Коэффициент теплопередачи определяем по формуле

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{1}{2r} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_b}} = \frac{1}{\frac{1}{45 * 0.05} + \frac{1}{2 * 62} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{320 * 0.042}} = \frac{1.927 \text{ Вт}}{\text{кг}}$$

Где  $\alpha_r$ -коэффициент теплоотдачи от газов к воде

$d_2$ -наружный диаметр трубы, м

$d_1$ -внутренний диаметр трубы, м

$\lambda$ -коэффициент теплопроводности стали, Вт/мгр

$\alpha_b$ - коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воде, Вт/м<sup>2</sup>К

средний температурный напор определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{\Delta t_b - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_b}{\Delta t_m}}$$

При прямоточной схеме движения теплоносителя

$$\Delta t_b = t_r' - t_b' = 950 - 40 = 910^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_m = t_r'' - t_b'' = 400 - 96 = 306^\circ \text{C}$$

$$\Delta t = \frac{910 - 306}{\ln 910 / 306} = 552.7^\circ \text{C}$$

При противоточной схеме движения теплоносителя

$$\Delta t_b = t_r' - t_b'' = 950 - 96 = 854^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_m = t_r'' - t_b' = 400 - 40 = 360^\circ \text{C}$$

$$\Delta t = \frac{854 - 360}{\ln 854 / 360} = 571.7^\circ \text{C}$$

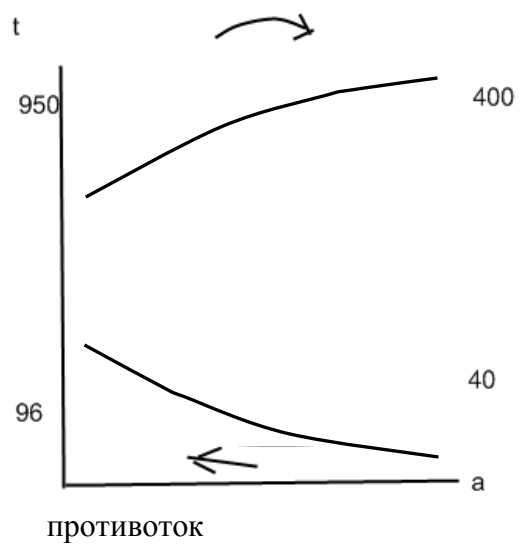
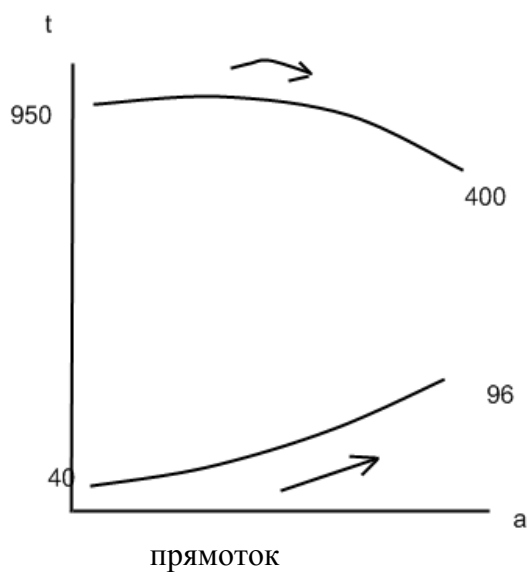
Площадь теплообменника при прямоточной схеме

$$A = \frac{Q}{K \Delta t} = \frac{156426}{1.927 * 552.7} = 146.8 \text{ м}^2$$

Площадь теплообменного аппарата при противоточной схеме

$$A = \frac{Q}{K \Delta t} = \frac{156426}{1.927 * 571.7} = 142 \text{ м}^2$$

Графики изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообменника



Противоточная схема движения теплоносителей более аналогичная, так как  $A=142 \text{ м}^2 < A=146.8 \text{ м}^2$

### 3. 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.

## **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАНЯТИЯМ**

### **4.1 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.

### **4.2 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.

### **4.3 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.

### **4.4 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.

### **4.5 Второй закон термодинамики. Циклы Карно прямой и обратный. Свойства обратимых и необратимых циклов.**

1. Какими показателями оцениваются свойства 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.

#### **4.6 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.

#### **4.7 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 механизуют и автоматизируют защищенном 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.

#### **4.8 Влажный воздух. Компрессоры**

1. Какие процессы послеуборочной обработки зерна механизуют 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.