

**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

| №<br>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.      | <b>Тема 1</b><br>Введение.<br>Основные понятия и определения.<br>Параметры тел.   |   | x                        |                                       | 1                                       | 2                           |
| 1.2.      | <b>Тема 2</b><br>Газовые смеси.<br>Теплоемкость.  |   | x                        | 6                                     | 1                                       | 2                           |
| 1.3       | <b>Тема 3</b><br>Первый закон термодинамики.<br>Исследование политропного и адиабатного процессов.                                |   | x                        | 6                                     | 1                                       | 2                           |
| 1.4       | <b>Тема 4</b><br>Исследование изобарного, изохорического и изотермического процессов.<br>Исследование групп политропных процессов |   | x                        | 6                                     | 2                                       | 4                           |
| 1.5       | <b>Тема 5</b><br>Второй закон термодинамики.<br>Циклы Карно прямой и обратный.<br>Свойства обратимых и необратимых циклов.        |   | x                        |                                       | 1                                       | 2                           |
| 2.1.      | <b>Тема 6</b><br>Исследование идеальных циклов двигателей внутреннего сгорания  |   | x                        | 18                                    | 1                                       | 2                           |
| 2.2.      | <b>Тема 7</b><br>Циклы паросиловых установок. Влияние параметров пара на эффективность использования тепла                        |   | x                        |                                       | 1                                       | 2                           |
| 2.3       | <b>Тема 8</b><br>Влажный воздух.<br>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. 2Изменение 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, 1, 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 газоводяного 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  $t_1$ , конечная  $-1$ . Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке трубы - и от стенки трубы к воде. Теплообменник выполнен из стальных труб с наружной 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

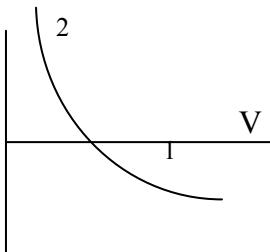
Из задания на контрольную работу записываете исходные данные:

Последовательность процессов

$$\begin{array}{ccccccc} 1-2 & 2-3 & 3-4 & 4-5 & 5-6 & 6-1 \\ T-\text{con} & S-\text{con} & P-\text{con} & V-\text{con} & S-\text{con} & \text{non} \\ P_1 = 0,6 \text{ МПа} & t_1 = 100^\circ\text{C} & V_1/V_2 = 2 & V_2/V_3 = 1,8 & V_4/V_3 = 2,5 & V_5 = 4 \\ V_6/V_5 = 1,8 & m = 4 \text{ кг} & \text{Газ} - \text{O}_2 & & & \end{array}$$

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

P



В точке 1 неизвестен объем, который находим из уравнения  $P_1V_1 = mRT_1$

$$V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} \text{ для чего определяем газовую постоянную для нашего примера } R_{02} = \frac{8314}{M_{02}} = \frac{8314}{32} = 260 \text{ Дж /Кг К}$$

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

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

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

Из уравнения  $P_1V_1 = P_2V_2$  определяем давление в точке 2

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = 0,6 * 2 = 1,2 \text{ МПа}$$

Определяем работу в процессе

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

Определяем изменение энтропии в процессе

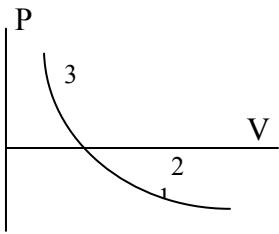
$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T_1} = \frac{268,9}{373} = 0,72 \text{ кДж/К}$$

Изображаем схему трансформации энергии в процессе

$$Q \xleftarrow{\quad} L \quad U = 0$$

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

По данным задачи  $\frac{V_2}{V_3} = 1,8$  определяем 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  $P_3 V_3 = mRT_3$  определяем температуру в точке 3

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

Работу в процессе определяем по формуле

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

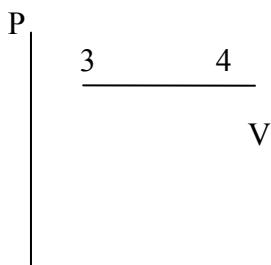
Изменение энтропии в процессе  $S_3 - S_2 = 0$

Изображаем схему трансформации энергии

$$Q = 0 \text{ U}$$

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

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

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

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

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

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

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

Теплоту, участвующую в процессе определяем

$Q = m C_p (T_4 - T_3)$   $C_p$  - теплоемкость кислорода при постоянном давлении определяем

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

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

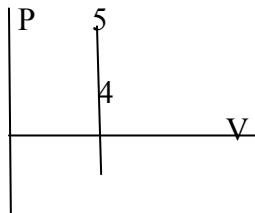
Изменение энтропии в процессе

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

Изображаем схему трансформации энергии

$$2584,6 \text{ Q} \xrightarrow{\quad} U 1842,5 \\ \downarrow L 733,6$$

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 определяется

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

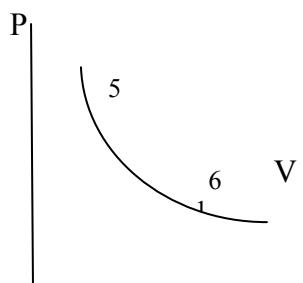
Изменение энтропии в процессе

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

Изображаем схему трансформации энергии

$$Q \xrightarrow{\quad} U \\ L=0$$

Дальше изображаем графически в координатах PV пятый процесс и производим вычисления



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

Определяем объем 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  $P_6 V_6 = m R T_6$

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

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

$$S_6 - S_5 = 0$$

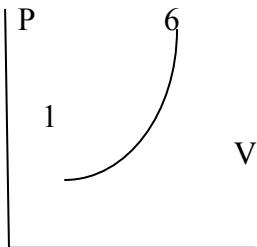
Схема трансформации энергии в процессе

$$Q = 0 \quad U$$



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

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

Изменение внутренней энергии в процессе

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

Теплота в процессе определяется по формуле

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

Изменение энтропии в процессе

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

Схема трансформации энергии в процессе

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

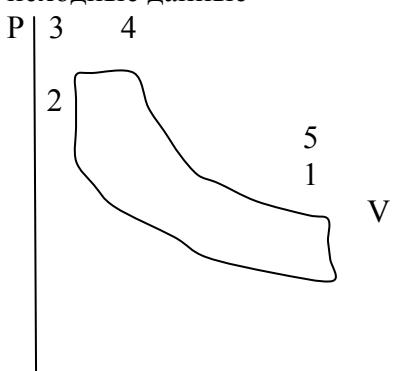
$$\nearrow L 173,7$$

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



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

Определяем параметры в характерных точках

Для точки 1

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

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

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

Для точки 2

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

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

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

Для точки 3

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

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

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

Для точки 4

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

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

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

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

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

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

Для построения графика цикла в координатах ST определяем

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

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

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

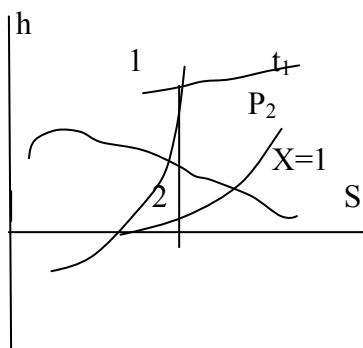
$$S_4 - S_{23} = C_p \ln \frac{T_4}{T_3} = 1,01 \ln 1,8 = 0,59 \text{ кДж/кг к}$$

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

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

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

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

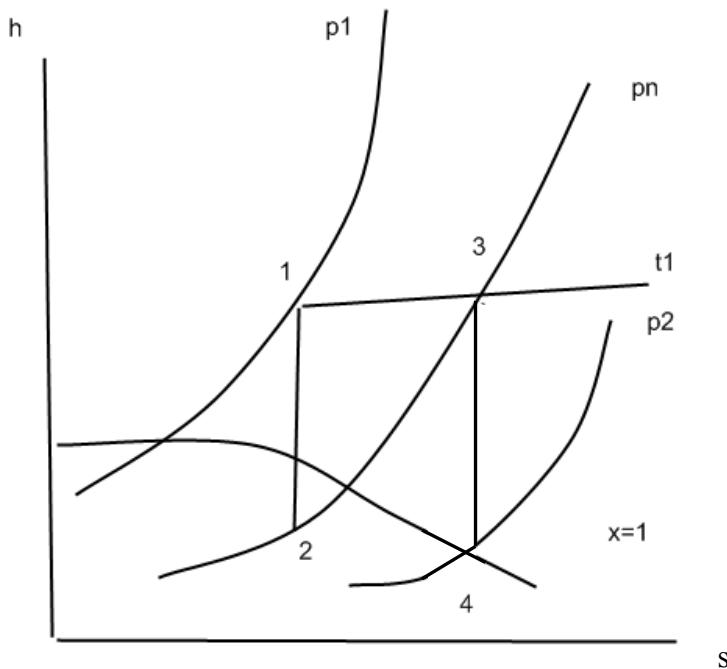
$h_{nb}$  - энталпия питательной воды определяемая давлением  $P_2$

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

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

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

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

$h_3$ -энталпия пара в пароперегревателе определяемая на пересечении изобары  $P_n$  и изотермы  $t_1$

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

для  $P_{\text{пп}}=2 \text{ МПа}$  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

$$\eta_t = 0,405 > \eta_r = 0,372$$

#### Задача 4

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

$$Q = \alpha A (t_{\text{ст}} - t_{\text{в}}) * T$$

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

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

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

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

$T$ -время теплоотдачи , $\text{С}$

Коэффициент теплоотдачи определяем по формуле

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

где  $Nu$ -критерий теплового подобия Нуссельта

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

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

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

критерий теплового подобия Нуссельта определяем по формуле

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

Критерий Грасгофа определяем по формуле

$$Gr = \frac{\beta d^3 g \Delta t}{v_2}$$

Где

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

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

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

$$v = 100 = 23/13 * 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$d = 210 \text{ мм}$$

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

Критерий Нуссельта

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

Коэффициент теплоотдачи

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

потери тепла с 1 м трубы за 1час 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

$$Q = mcp(t_b'' - t_b')$$

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

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

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

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

Площадь теплообменника определяем по формуле

$$Q = kA \Delta t$$

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

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

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

Коэффициент теплопередачи определяем по формуле

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

Где  $a_r$ -коэффициент теплоотдачи от газов к воде

$d_2$ -наружный диаметр трубы,м

$d_1$ -внутренний диаметр трубы,м

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

$a_b$ - 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

$$\Delta t_b = t'r - t'b = 950 - 40 = 910^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_m = t''r - t''b = 400 - 96 = 306^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{910 - 304}{\ln 910 / 304} = 552,7^\circ\text{C}$$

При противоточной схеме движения теплоносителя

$$\Delta t_b = t'r - t''b = 950 - 96 = 854^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t''r - t'b = 400 - 40 = 360^\circ\text{C}$$

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

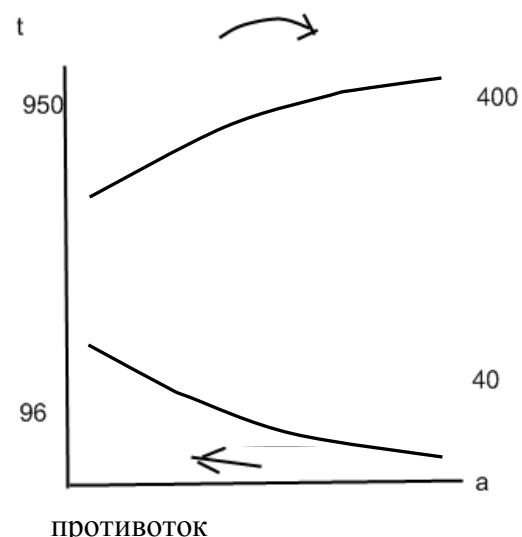
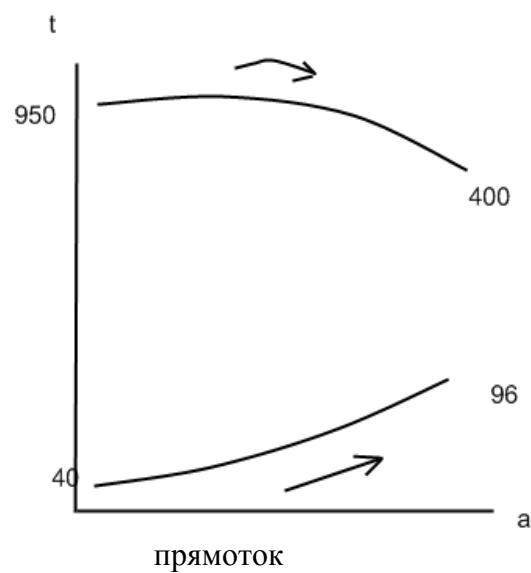
Площадь теплообменника при прямоточной схеме

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

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 аналогична, так как  $A=142$   
 $m^2 < A=146.8m^2$

### **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 $i$ - $v$ 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. Харктеристика 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. Перечислить 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 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.

#### **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 защищённый грунт.
3. Какие способы используют для обогрева защищённого грунта.
4. Какие технологические процессы механизируют 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.

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

1. Какие процессы послеуборочной обработки зерна механизируют 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.