

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Кафедра теплотехники

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ**
по учебной дисциплине

Б3.В.3 «Техническая термодинамика и теплотехника»

Направление подготовки:

240100.62 «Химическая технология»

Профили подготовки: **Химическая технология биологически активных веществ и углеродных адсорбентов,**
Химическая технология целлюлозно-бумажного производства

квалификация выпускника **«бакалавр»**

Архангельск 2013

ЗАДАНИЕ №1

Расчетные данные.* I. Состав газовой смеси, %
по объему:

кислород ;

азот ;

углекислый газ ;

водяной пар .

2. Начальные параметры газовой смеси (первая точка цикла):

давление p_1 , МПа;

температура t_1 , °С.

3. Показатели процессов заданного цикла:

процесс 1-2 $n_{1-2} = \dots$;

процесс 2-3 $n_{2-3} = \dots$;

процесс 3-4 $n_{3-4} = \dots$;

процесс 4-1 $n_{4-1} = \dots$.

4. Степень сжатия $\epsilon = \frac{v_1}{v_2}$.

5. Степень повышения давления $\lambda = \frac{p_3}{p_2}$.

6. Степень предварительного расширения $\rho = \frac{v_3}{v_2}$.

Т р е б у е т с я . I. Произвести расчет газовой смеси.

2. Определить параметры газовой смеси (p, v, T, s) в характерных точках цикла.

3. Определить изменение внутренней энергии, удельную работу и количество подведенной или отведенной теплоты в каждом процессе.

4. Определить термический коэффициент полезного действия заданного цикла.

5. Определить термический коэффициент полезного действия цикла Карно в температурных пределах заданного цикла и уменьшение термического к п д. заданного цикла по сравнению с термическим к п д. цикла Карно.

* Варианты задания приведены в прил. I.

6. Построить заданный цикл в координатах p, v, T в выбранном масштабе и определить промежуточные точки в процессах, где это необходимо.

Расчет газовой смеси

Каждящаяся молярная масса газовой смеси, кг/моль, определяется из уравнения $M_{см} = \sum_{i=1}^n \eta_i M_i$,

где η_i - объемная доля i -того газа;
 M_i - молярная масса i -того газа, кг/кмоль;
 n - число газов в смеси.

Удельная газовая постоянная смеси, Дж/(кг·К), определяется через кажущуюся молярную массу:

$$R_{о см} = \frac{8314}{M_{см}}$$

Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К), при постоянном давлении для газовой смеси может быть определена по формулам

$$c_p = \sum_{i=1}^n \omega_i c_{pi} \quad \text{или} \quad c_p = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i c_{pi}}{M_{см}}$$

где ω_i - массовая доля i -того газа;
 c_{pi} - удельная теплоемкость i -того газа, Дж/(кг·К), при $p = const$, $c_{pi} = \frac{c_{pi}}{M_i}$;
 c_{pi} - молярная теплоемкость i -того газа, Дж/(моль·К), при $p = const$.

Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К), при постоянном объеме равна

$$c_v = \sum_{i=1}^n \omega_i c_{vi} \quad \text{или} \quad c_v = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i c_{vi}}{M_{см}}$$

где c_{vi}, c_{vi} - молярная и удельная теплоемкости при $v = const$.
 Значения молярных теплоемкостей выбирают по таблице, не учитывая их зависимость от температуры.

| Газы | c_v Дж/(моль·К) | c_p Дж/(моль·К) |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| Двухатомные | 5. 4, 19 | 7. 4, 19 |
| Трех-и многоатомные | 7. 4, 19 | 9. 4, 19 |

Проверка правильности вычисления удельных теплоемкостей, Дж/(кг·К), проводится по уравнению Майера: $c_p - c_v = R_o$.

Показатель сдвизбаты $\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_v}$.

Удельный объем при нормальных условиях, м³/кг:

$$v_n = \frac{22,4}{M_{см}} \quad \text{или} \quad v_n = \frac{R_o T_n}{p_n}$$

где p_n - абсолютное давление, $p_n = 101325$ Па;
 T_n - абсолютная температура, $T_n = 273$ К.

Параметры газовой смеси в характеристных точках. а) Параметры первой точки:

удельный объем, м³/кг, $v_1 = \frac{R_{о см} T_1}{p_1}$,

где T_1 - абсолютная температура, $T_1 = t_1 + 273$ К;
 p_1 - абсолютное давление, Па.

б) Параметры второй точки определяются в зависимости от характера термодинамического процесса 1-2.

При изотермическом процессе ($n = 1$; $T = const$):

1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\epsilon}$.

2. Абсолютная температура $T_2 = T_1$.

3. Абсолютное давление $p_2 = p_1 \epsilon$.

При адиабатном процессе $n = \kappa$:

1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\epsilon}$.

2. Абсолютная температура $T_2 = T_1 \epsilon^{\kappa-1}$.

3. Абсолютное давление $p_2 = p_1 \epsilon^{\kappa}$.

При проверке параметров второй точки должно выполняться равенство $p_2 v_2 = R_{о см} T_2$.

При политропном процессе:

1. Удельный объем $v_2 = \frac{v_1}{\epsilon}$.

2. Абсолютная температура $T_2 = T_1 \epsilon^{n-1}$.

3. Абсолютное давление $p_2 = p_1 \epsilon^n$.

в) Параметры третьей точки определяются в зависимости от характера процесса 2-3.

При изохорном процессе:

1. Удельный объем $v_3 = v_2$.

2. Абсолютная температура $T_3 = T_2 \lambda$.

3. Абсолютное давление $p_3 = p_2 \lambda$.

При изобарном процессе:

1. Удельный объем $v_3 = v_2 \rho$.

2. Абсолютная температура $T_3 = T_2 \rho$.

3. Абсолютное давление $P_3 = P_2$.

г) Параметры четвертой точки:

Если процесс 4-1 изохорный, $v_4 = v_1$.

Абсолютное давление и абсолютная температура равны:

1. При адиабатном процессе 3-4 $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^\kappa$; $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{\kappa-1}$.

2. При политропном процессе 3-4 $\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^n$; $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{n-1}$.

3. При изотермическом процессе 3-4 $\frac{P_4}{P_3} = \frac{v_3}{v_4}$; $T_4 = T_3$.

Если процесс 4-1 изобарный, $P_4 = P_1$.

Удельный объем и абсолютная температура равны:

1. При адиабатном процессе 3-4 $\left(\frac{v_3}{v_4}\right)^\kappa = \frac{P_4}{P_3}$; $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$.

2. При политропном процессе 3-4 $\left(\frac{v_3}{v_4}\right)^n = \frac{P_4}{P_3}$; $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{1}{n-1}}$.

3. При изотермическом процессе 3-4 $\frac{v_3}{v_4} = \frac{P_4}{P_3}$; $T_4 = T_3$.

Удельную энтропию в характерных точках цикла можно определить по формуле $s_i = c_v \ln(T_i/T_n) + R_0 \ln(v_i/v_n)$,

где c_v - удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг·К);

T_i - абсолютная температура в начальной точке процесса, К;

T_n - абсолютная температура при нормальных условиях, $T_n = 273\text{К}$;

R_0 - удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К);

v_1 - удельный объем в начальной точке процесса, м³/кг;

v_n - удельный объем, м³/кг, при $p_n = 101325\text{ Па}$; $T_n = 273\text{ К}$.

Изменение удельной внутренней энергии

Для всех процессов, кроме изотермического, изменение удельной внутренней энергии можно определить по формуле

$$\Delta u = c_v (T_{i+1} - T_i).$$

Для изотермического процесса $\Delta u = 0$.

Удельная работа газовой смеси в процессе, Дж/кг:

1. Для изотермического процесса

$$l_{i-(i+1)} = p_i v_i \cdot 2,3 \lg(v_{i+1}/v_i).$$

2. Для адиабатного процесса

$$l_{i-(i+1)} = \frac{1}{\kappa-1} p_i v_i \left[1 - (p_{i+1}/p_i)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right].$$

3. Для политропного процесса

$$l_{i-(i+1)} = \frac{1}{n-1} p_i v_i \left[1 - (p_{i+1}/p_i)^{\frac{n-1}{n}}\right].$$

4. Для изобарного процесса

$$l_{i-(i+1)} = p(v_{i+1} - v_i).$$

5. Для изохорного процесса

$$l_{i-(i+1)} = 0,$$

где p_i, p_{i+1} - абсолютное давление в начальной и конечной точках процесса, Па;

v_i, v_{i+1} - удельные объемы в начальной и конечной точках процесса, м³/кг.

Удельное количество теплоты, подведенное или отведенное от газовой смеси, Дж/кг:

1. Для адиабатного процесса

$$q_{i-(i+1)} = 0.$$

2. Для общего политропного процесса

$$q_{i-(i+1)} = c_v \frac{n-\kappa}{n-1} (T_{i+1} - T_i).$$

3. Для изохорного процесса

$$q_{i-(i+1)} = c_v (T_{i+1} - T_i).$$

4. Для изобарного процесса

$$q_{i-(i+1)} = c_p (T_{i+1} - T_i).$$

5. Для изотермического процесса

$$q_{i-(i+1)} = 2,3 p_i v_i \lg(v_{i+1}/v_i).$$

Если в результате вычисления получается положительное число, то теплота подводится, а если отрицательное, то теплота отводится.

Определение термического КПД цикла

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1},$$

где q_1 - удельное количество подведенной теплоты в процессах цикла, определяется как сумма удельного количества теплоты отдельных процессов.

q_2 - удельное отведенное количество теплоты в процессах цикла, определяется как сумма удельного количества теплоты отдельных процессов. (В формуле термического КПД q_2 - абсолютная величина.)

Определение термического КПД цикла Карно для температурных пре-

делов заданного цикла $\eta_t^k = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$,
 где T_{min}, T_{max} - минимальная и максимальная абсолютные температуры ра-
 бочего тела в заданном цикле, К.

Уменьшение термического к п д заданного цикла по сравнению
 с термическим к п д цикла Карно определяется по формуле

$$\Delta \eta = (\eta_t^k - \eta_t) / \eta_t^k$$

П о с т р о е н и е ц и к л а в к о о р д и н а т а х

p - абсолютное давление по оси ординат, МПа;

v - удельный объем по оси абсцисс, м³/кг.

Для определения промежуточных точек необходимо при общем по-
 литропном процессе принять значение удельного объема v_x в преде-
 лах значений начальной и конечной точек процесса. Из уравнения
 $p_i v_i^n = p_x v_x^n$ определить давление для принятой промежуточ-
 ной точки:

$$p_x = p_i (v_i / v_x)^n$$

Для изохорного и изобарного процессов промежуточные точки опреде-
 лять нет необходимости.

П о с т р о е н и е ц и к л а в к о о р д и н а т а х

T - абсолютная температура по оси ординат, К ;

s - удельная энтропия по оси абсцисс, Дж/(кг·К).

Для определения промежуточных точек необходимо:

1. Принять значение абсолютной температуры T_x в пределах
 значений начальной и конечной точек процесса.

2. Определить значение удельного объема для принятой точки:
 для общего политропного процесса

$$\frac{v_x}{v_i} = \left(\frac{T_i}{T_x} \right)^{\frac{1}{n-1}};$$

для изохорного процесса

$$v_i = v_x = v_{i+1};$$

для изобарного процесса

$$T_i / T_x = v_i / v_x$$

3. Определить значение удельной энтропии, Дж/(кг·К), для при-
 нятой промежуточной точки по формуле

$$s_x = 2,3 c_v \lg \frac{T_x}{T_i} + R_{осм} \cdot 2,3 \lg \frac{v_x}{v_i},$$

где c_v - удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг·К).