

Задача 66

Так как $\lambda = 1$ имеет место цикл с изобарным подводом теплоты

$$p_1 = 0,1 \text{ МПа} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$t_1 = 20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$$

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 16,5$$

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} = 1$$

$$\rho = \frac{v_4}{v_3} = 3$$

воздух

$$R_1 = 287 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$$

$$c_v = 0,72 \text{ кДж/кг} \cdot \text{K}$$

$$c_p = 1,01 \text{ кДж/кг} \cdot \text{K}$$

$$k = 1,4$$

$$q_1 = ? \quad q_2 = ?$$

$$\eta_t = ? \quad l_u = ?$$

1) Определяем параметры P, V, T , для основных точек цикла:

а) для точки 1 дано $p_1 = 250 \text{ кПа} = 250000 \text{ Па}$

$T_1 = 293 \text{ K}$. Из уравнения состояния идеального газа $pV = RT$ находим

$$v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 293}{100000} = 0,841 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

б) для точки 2

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} = 16,5 \quad \text{отсюда} \quad v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon} = \frac{0,841}{16,5} = 0,051 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Так как в условии задачи оговорен идеальный поршневой двигатель, - процесс 1-2 является адиабатным.

Из уравнения адиабаты находим давление в точке 2

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^k \quad \text{отсюда}$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\left(\frac{v_2}{v_1} \right)^k} = \frac{100000}{\left(\frac{0,051}{0,841} \right)^{1,4}} = 5059600 \text{ Па}$$

Температуру в точке 2 находим из уравнения состояния идеального газа

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot v_2}{R} = \frac{5059600 \cdot 0,051}{287} = 899,1 \text{ K}$$

в) для точки 3 $v_3 = v_2 = 0,051 \text{ м}^3 / \text{кг}$

$$p_3 = p_2 \cdot \lambda = 5059600 \cdot 1 = 5059600 \text{ Па}$$

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = 899,1 \cdot 1 = 899,1 \text{ K}$$

То есть точка 2 и 3 совпадают.

г) для точки 4 $p_4 = p_3 = 5059600 \text{ Па} = 5,06 \text{ МПа}$

$$\frac{v_4}{v_3} = \rho \quad \text{отсюда} \quad v_4 = \rho \cdot v_3 = 3 \cdot 0,051 = 0,153 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Температуру найдем из уравнения для изобарного процесса $\frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \rho$ отсюда

$$T_4 = T_3 \cdot \rho = 899,1 \cdot 3 = 2697,3 \text{ K}$$

д) для точки 5 $v_5 = v_1 = 0,841 \text{ м}^3 / \text{кг}$

Для адиабатного процесса находим давление в точке 5 $\frac{p_4}{p_5} = \left(\frac{v_5}{v_4}\right)^k$ отсюда

$$p_5 = \frac{p_4}{\left(\frac{v_5}{v_4}\right)^k} = \frac{5059600}{\left(\frac{0,841}{0,153}\right)^{1,4}} = 465553 \text{ Па}$$

Температуру найдем из уравнения состояния идеального газа

$$p_5 v_5 = R \cdot T_5 \rightarrow T_5 = \frac{p_5 v_5}{R} = \frac{465553 \cdot 0,841}{287} = 1364,2 \text{ К}$$

Характерные точки	Значения параметров состояния газовой смеси		
	р, бар	v, м ³ / кг	T, К
1	1	0,841	293
2	50,6	0,051	899,1
3	50,6	0,051	899,1
4	50,6	0,153	2697,3
5	4,66	0,841	1364,2

2) Изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии в процессах, работа и тепло

Процесс 1-2 (адиабатный)

$$\Delta u_{1-2} = C_v \cdot (T_2 - T_1) = 0,72 \cdot (899,1 - 293) = 436,39 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta h_{1-2} = C_p \cdot (T_2 - T_1) = 1,01 \cdot (899,1 - 293) = 612,16 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta S_{1-2} = 0 \text{ кДж / кг}$$

$$l_{1-2} = \frac{R}{k-1} \cdot (T_1 - T_2) \cdot 10^{-3} = \frac{287}{1,4-1} \cdot (293 - 899,1) \cdot 10^{-3} = -434,88 \text{ кДж / кг}$$

$$q_{1-2} = 0 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 2-3 0

Процесс 3-4 (изобарный)

$$\Delta u_{3-4} = C_v \cdot (T_4 - T_3) = 0,72 \cdot (2697,3 - 899,1) = 1294,7 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta h_{3-4} = C_p \cdot (T_4 - T_3) = 1,01 \cdot (2697,3 - 899,1) = 1816,18 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta S_{3-4} = C_p \cdot \ln \frac{T_4}{T_3} = 1,01 \cdot \ln \frac{2697,3}{899,1} = 1,11 \text{ кДж / кг}$$

$$l_{3-4} = R \cdot (T_4 - T_3) \cdot 10^{-3} = 287 \cdot (2697,3 - 899,1) \cdot 10^{-3} = 516,08 \text{ кДж / кг}$$

$$q_{3-4} = C_p \cdot (T_4 - T_3) = 1,01 \cdot (2697,3 - 899,1) = 1816,18 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 4-5 (адиабатный)

$$\Delta u_{4-5} = C_v \cdot (T_5 - T_4) = 0,72 \cdot (1364,2 - 2697,3) = -959,83 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta h_{4-5} = C_p \cdot (T_5 - T_4) = 1,01 \cdot (1364,2 - 2697,3) = -1346,43 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta S_{4-5} = 0 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$l_{4-5} = \frac{R}{k-1} \cdot (T_4 - T_5) \cdot 10^{-3} = \frac{287}{1,4-1} \cdot (2697,3 - 1364,2) \cdot 10^{-3} = 956,50 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$q_{1-2} = 0 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Процесс 5-1 (изохорный)

$$\Delta u_{5-1} = C_v \cdot (T_1 - T_5) = 0,72 \cdot (293 - 1364,2) = -771,26 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$\Delta h_{5-1} = C_p \cdot (T_1 - T_5) = 1,01 \cdot (293 - 1364,2) = -1081,91 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$\Delta S_{5-1} = C_v \cdot \ln \frac{T_1}{T_5} = 0,72 \cdot \ln \frac{293}{1364,2} = -1,107 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$l_{5-1} = 0 \text{ кДж} / \text{кг}$$

$$q_{5-1} = C_v \cdot (T_1 - T_5) = 0,72 \cdot (293 - 1364,2) = -771,26 \text{ кДж} / \text{кг}$$

Наименование процесса	Δu кДж/кг	Δh кДж/кг	ΔS кДж/(кг*К)	l кДж/кг	q кДж/кг
1-2	436,39	612,16	0	-434,88	0
2-3	0	0	0	0	0
3-4	1294,7	1816,18	1,11	516,08	1816,18
4-5	-959,83	-1346,43	0	956,50	0
5-1	-771,26	-1081,91	-1,107	0	-771,26
Σ	0	0,02	0,003	1037,7	1044,92

3) Количество тепла, подводимое в цикле $q_1 = q_{3-4} = 1816,18 \text{ кДж} / \text{кг}$

4) Количество тепла отводимого в цикле $q_2 = q_{5-1} = 771,26 \text{ кДж} / \text{кг}$

5) Работа цикла $l_u = l_{1-2} + l_{3-4} + l_{4-5} = 1037,7 \text{ кДж} / \text{кг}$

6) Термический КПД цикла $\eta_t = \frac{l_u}{q_1} = \frac{1037,7}{1816,18} = 0,571$ или

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{771,26}{1816,18} = 0,575$$

7) Термический КПД цикла Карно $\eta_{тК} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{293}{2697,3} = 0,891$

8) Построение цикла в диаграмме PV

Расчет дополнительных точек

Процесс 1-2

$$p_1 = 1 \text{ бар} \rightarrow v_1 = 0,841 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$p_a = 10 \text{ бар} \rightarrow v_a = 0,163 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$p_a = 25 \text{ бар} \rightarrow v_a = 0,0845 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$p_b = 35 \text{ бар} \rightarrow v_b = 0,066 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$p_2 = 50,6 \text{ бар} \rightarrow v_2 = 0,051 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

для давления $p_a = 15\text{бар}$ по показателю адиабаты определяем удельный объем

$$\frac{p_a}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_a}\right)^k \rightarrow \left(\frac{p_a}{p_1}\right)^{\frac{1}{k}} = \frac{v_1}{v_a} \rightarrow v_a = \frac{v_1}{\left(\frac{p_a}{p_1}\right)^{\frac{1}{k}}} = \frac{0,841}{\left(\frac{25}{1}\right)^{\frac{1}{1,4}}} = 0,0845\text{м}^3/\text{кг}$$

$$v_b = \frac{v_1}{\left(\frac{p_b}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{0,841}{\left(\frac{35}{1}\right)^{\frac{1}{1,4}}} = 0,066\text{м}^3/\text{кг}$$

Процесс 2-3

Процесс 3-4

$$p_3 = 50,62\text{бар} \rightarrow v_3 = 0,051\text{м}^3/\text{кг}$$

$$p_4 = 50,6\text{бар} \rightarrow v_4 = 0,153\text{м}^3/\text{кг}$$

Процесс 4-5

$$p_4 = 50,6\text{бар} \rightarrow v_4 = 0,153\text{м}^3/\text{кг}$$

$$p_a = 30\text{бар} \quad v_a = 0,220\text{м}^3/\text{кг}$$

$$p_b = 15\text{бар} \quad v_b = 0,361\text{м}^3/\text{кг}$$

$$p_5 = 4,66\text{бар} \quad v_5 = 0,841\text{м}^3/\text{кг}$$

$$v_a = \frac{v_4}{\left(\frac{p_a}{p_4}\right)^{\frac{1}{k}}} = \frac{0,153}{\left(\frac{30}{50}\right)^{\frac{1}{1,4}}} = 0,220\text{м}^3/\text{кг} \quad v_b = \frac{v_4}{\left(\frac{p_b}{p_4}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{0,179}{\left(\frac{15}{50}\right)^{\frac{1}{1,4}}} = 0,361\text{м}^3/\text{кг}$$

Процесс 5-1

$$p_5 = 4,663\text{бар} \quad v_2 = 0,841\text{м}^3/\text{кг}$$

$$p_1 = 1\text{бар} \quad v_3 = 0,841\text{м}^3/\text{кг}$$



