

### Задача 3

$g_{CO_2} = 10\% = 0,1$
$g_{H_2O} = 6\% = 0,06$
$g_{N_2} = 76\% = 0,76$
$g_{O_2} = 8\% = 0,08$
$\varepsilon = 8$
$t_1 = 127^\circ C = 400K$
$G = 18кг$
$p_1 = 0,8МПа = 0,8 \cdot 10^6 Па$
$V_2 = ? p_2 = ?$
$L = ? Q = ? \Delta s = ?$

#### 1) Расчет газовой смеси

Удельная газовая постоянная смеси.

$$R_{см} = g_{CO_2} \cdot R_{CO_2} + g_{H_2O} \cdot R_{H_2O} + g_{N_2} \cdot R_{N_2} + g_{O_2} \cdot R_{O_2} =$$

$$= 0,1 \cdot 189,9 + 0,06 \cdot 461,6 + 0,76 \cdot 296,8 + 0,08 \cdot 259,8 = 293,04 Дж / (кг \cdot K)$$

Где газовые постоянные, углекислого газа, паров воды, азота и кислорода взяты из таблиц.

#### 2) Плотность и удельный объем смеси в точке 1

Удельный объем

$$v_{1см} = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = \frac{293,04 \cdot 400}{800000} = 0,147 м^3 / кг$$

$$\text{Объем смеси } V_1 = v_{1см} \cdot G = 0,147 \cdot 18 = 2,646 м^3$$

#### 3) Параметры смеси в точке 2

$$T_2 = T_1 = 400K. \quad \text{Из } \varepsilon = \frac{v_{см2}}{v_{см1}} \text{ находим удельный объем}$$

$$v_{см2} = \varepsilon \cdot v_1 = 8 \cdot 0,147 = 1,176 м^3 / кг$$

$$\text{Объем смеси } V_2 = v_{2см} \cdot G = 1,176 \cdot 18 = 21,168 м^3$$

По уравнению состояния идеального газа находим давление в точке 2.

$$p_2 = \frac{R \cdot T_2}{v_{2см}} = \frac{293,04 \cdot 400}{1,176} = 99796 Па$$

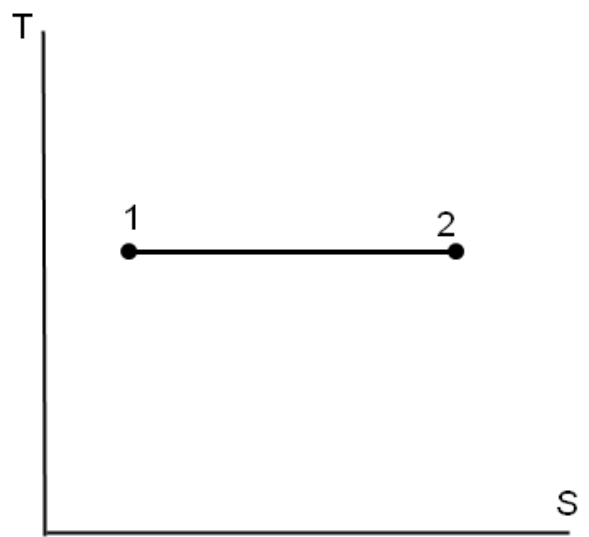
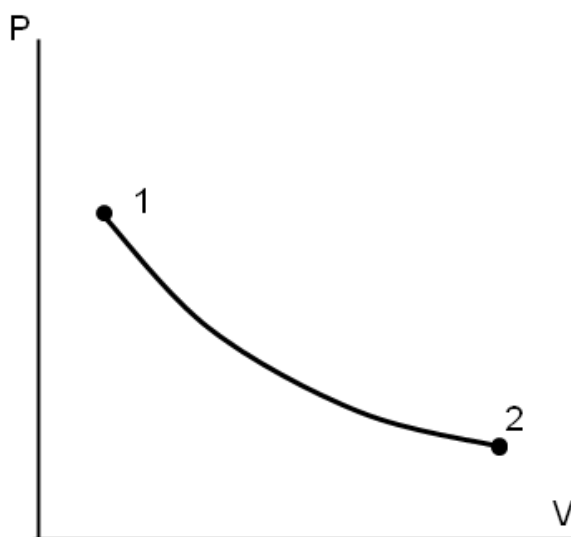
#### 4) Работа расширения в изотермическом процессе определяется уравнением

$$L = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = 800000 \cdot 2,646 \cdot \ln \frac{21,168}{2,646} = 4401761,9 Дж = 4401,8 кДж$$

#### 5) Теплота процесса $L = Q = 4401,8 кДж$

#### 6) Удельное изменение энтропии

$$\Delta s = R \cdot \ln \frac{p_1}{p_2} = 293,04 \cdot \ln \frac{800000}{99796} = 609,96 Дж / (кг \cdot K)$$



### Задача13

$V = 10\text{ м}^3$ $p = 1,4\text{ МПа} = 1,4 \cdot 10^6\text{ Па}$ $G_B = 30\text{ кг}$
$V_2 = ? \quad p_2 = ?$ $L = ? \quad Q = ? \quad \Delta s = ?$

По таблицам воды и водяного пара определяем температуру влажного насыщенного пара  $t = 126,9^{\circ}\text{C}$

Удельный объем воды при данном значении температуры  $v_B = 0,00084\text{ м}^3 / \text{кг}$

Удельный объем пара при заданном значении давления и температуры  $v_{\Pi} = 0,01339\text{ м}^3 / \text{кг}$

Объем, занимаемый водой

$$V_B = G_B \cdot v_B = 30 \cdot 0,00084 = 0,0252\text{ м}^3$$

$$\text{Объем занимаемый паром } V_{\Pi} = V - V_B = 10 - 0,0252 = 9,9748\text{ м}^3$$

$$\text{Масса пара } G_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{v_{\Pi}} = \frac{9,9748}{0,01339} = 744,944\text{ кг}$$

$$\text{Масса влажного насыщенного пара } G = G_{\Pi} + G_B = 744,944 + 30 = 774,944\text{ кг}$$

$$\text{Степень сухости пара } x = \frac{G_{\Pi}}{G_{\Pi} + G_B} = \frac{744,944}{744,944 + 30} = 0,96$$

**Ответ:**  $G = 774,944\text{ кг}$   $x = 0,96$

### Задача18

Газовая постоянная воздуха  $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ . Показатель

$$p_1 = 0,4\text{ МПа}$$

$$t_1 = 240^{\circ}\text{C}$$

$$p_2 = P_{\text{вых}} = 0,1\text{ МПа}$$

$$G = 0,5\text{ кг} / \text{с}$$

адиабаты воздуха  $k = 1,4$  Задаем начальную скоростью пара на

входе в сопло  $W_{\text{вх}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , Углы раствора: дозвуковой части  $50^{\circ}$ ;

сверхзвуковой части  $10^{\circ}$

$$P_1 = 0,4\text{ МПа}$$

Определяем критическое давление из

формулы  $\frac{P_{\text{к}}}{P_1} = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$  где  $k=1,4$

$$P_{\text{к}} = P_1 \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = 0,4 \cdot \left( \frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,211\text{ МПа}$$

1) Находим перепад давления в сопле

$$\beta_{\text{вых}} = \frac{P_{\text{вых}}}{P_1} = \frac{0,1 \cdot 10^6\text{ Па}}{0,4 \cdot 10^6\text{ Па}} = 0,25$$

$$\beta_{\text{кр}} = \frac{P_{\text{кр}}}{P_1} = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \left( \frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,528$$

2) Для расчета параметров газа в промежуточных сечениях задаем значения

$$1 \geq \beta_i \geq \beta_{\text{вых}}$$

$$\beta_i = (1; 0,8; 0,528; 0,4; 0,3; 0,25)$$

Д)

$$i = 1 \quad \beta_i = 1$$

Определяем параметры газа по длине сопла:

$$P_i = \beta_i \cdot P_1 = 1 \cdot 0,4 \text{ МПа} = 0,4 \text{ МПа}$$

$$T_i = T_1 \cdot \beta_i^{\frac{k-1}{k}} = T_0 \cdot 1 = T_1 = 400 \text{ К}$$

$$V_i = \frac{RT_i}{p_i} = \frac{287 \cdot 400}{0,4 \cdot 10^6} = 0,287 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} - \text{удельный объем}$$

$$\rho_i = \frac{1}{V_i} = 3,484 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность}$$

$$\text{Скорость потока: } W_1 = W_{\text{ex}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Местная скорость звука:

$$a_i = \sqrt{kRT_i} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 400} = 400,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число Маха:

$$M_i = \frac{W_i}{a_i} = \frac{10}{400,9} = 0,025 - \text{дозвуковой поток}$$

Геометрические размеры сопла:

а) площадь поперечного сечения

$$f_i = \frac{G}{\rho_i \cdot W_i} = \frac{0,5}{3,48 \cdot 10} = 0,0144 \text{ м}^2$$

б) диаметр

$$d_i = 2 \sqrt{\frac{f_i}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{0,0144}{\pi}} = 0,135 \text{ м}$$

$$\text{в) } l_{\text{дв}} = \frac{d_i - d_{\text{кр}}}{2 \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,135 - 0,028}{2 \cdot \text{tg}\left(\frac{50^\circ}{2}\right)} = 0,114 \text{ м}$$

II)

$$i = 0,8 \quad \beta_i = 0,8$$

Определяем параметры газа по длине сопла:

$$P_i = \beta_i \cdot P_1 = 0,8 \cdot 0,4 \text{ МПа} = 0,32 \text{ МПа}$$

$$T_i = T_1 \cdot \beta_i^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \cdot 0,8^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 375,3 \text{ К}$$

$$V_i = \frac{RT_i}{p_i} = \frac{287 \cdot 375,3}{0,32 \cdot 10^6} = 0,337 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$\rho_i = \frac{1}{V_i} = 2,97 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$W_i = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} R(T_1 - T_i)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,4}{1,4-1} \cdot 287 \cdot (400 - 375,3)} = 222,76 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Местная скорость звука:

$$a_i = \sqrt{kRT_i} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 375,3} = 388,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число Маха:

$$M_i = \frac{W_i}{a_i} = 0,574 - \text{дозвуковой поток}$$

Геометрические размеры сопла:

а) площадь поперечного сечения

$$f_i = \frac{G}{\rho_i \cdot W_i} = \frac{0,5}{2,97 \cdot 222,8} = 0,000756 \text{ м}^2$$

б) диаметр

$$d_i = 2\sqrt{\frac{f_i}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{0,93 \cdot 10^{-3}}{\pi}} = 0,031 \text{ м}$$

$$\text{в) } l_{oi} = \frac{d_i - d_{кр}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,031 - 0,028}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{50^0}{2}\right)} = 0,0032 \text{ м}$$

III)

$$i = 0,528 \quad \beta_i = 0,528$$

Определяем параметры газа по длине сопла:

$$P_i = \beta_i \cdot P_1 = 0,528 \cdot 0,4 \text{ МПа} = 0,211 \text{ МПа}$$

$$T_i = T_1 \cdot \beta_i^{\frac{k-1}{k}} = 400 \cdot 0,528^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 333,3 \text{ К}$$

$$V_i = \frac{RT_i}{p_i} = \frac{287 \cdot 333,3}{0,211 \cdot 10^6} = 0,453 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$\rho_i = \frac{1}{V_i} = 2,205 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$W_i = \sqrt{\frac{2k}{k-1} R(T_1 - T_i)} = 366,06 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Местная скорость звука:

$$a_i = \sqrt{kRT_i} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 333,3} = 366,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число Маха:

$$M_i = \frac{W_i}{a_i} = 1 \text{ - звуковой поток}$$

Геометрические размеры сопла:

а) площадь поперечного сечения

$$f_i = \frac{G}{\rho_i \cdot W_i} = \frac{0,5}{2,205 \cdot 366,06} = 6,19 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

б) диаметр

$$d_i = 2\sqrt{\frac{f_i}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{4,52 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,028 \text{ м}$$

$$\text{в) } l_{oi} = \frac{d_i - d_{кр}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,028 - 0,028}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{10^0}{2}\right)} = 0$$

IV)

$$i = 0,4 \quad \beta_i = 0,4$$

Определяем параметры газа по длине сопла:

$$P_i = \beta_i \cdot P_1 = 0,4 \cdot 0,4 \text{ МПа} = 0,16 \text{ МПа}$$

$$T_i = T_1 \cdot \beta_i^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \cdot 0,4^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 307,9K$$

$$V_i = \frac{RT_i}{p_i} = \frac{287 \cdot 307,9}{0,16 \cdot 10^6} = 0,552 \frac{M^3}{KZ}$$

$$\rho_i = \frac{1}{V_i} = 1,81 \frac{KZ}{M^3}$$

$$W_i = \sqrt{\frac{2k}{k-1} R(T_1 - T_i)} = 430,14 \frac{M}{c}$$

Местная скорость звука:

$$a_i = \sqrt{kRT_i} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 307,9} = 351,7 \frac{M}{c}$$

Число Маха:

$$M_i = \frac{W_i}{a_i} = 1,223 \text{ - сверхзвуковой поток}$$

Геометрические размеры сопла:

а) площадь поперечного сечения

$$f_i = \frac{G}{\rho_i \cdot W_i} = \frac{0,5}{1,81 \cdot 430,14} = 6,42 \cdot 10^{-4} M^2$$

б) диаметр

$$d_i = 2\sqrt{\frac{f_i}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{6,42 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,0286 M$$

$$в) l_{oi} = \frac{d_i - d_{kp}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,0286 - 0,028}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{10^0}{2}\right)} = 0,00343 M$$

V)

$$i = 0,3 \quad \beta_i = 0,3$$

Определяем параметры газа по длине сопла:

$$P_i = \beta_i \cdot P_1 = 0,3 \cdot 0,4 MПа = 0,12 MПа$$

$$T_i = T_1 \cdot \beta_i^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \cdot 0,3^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 283,6K$$

$$V_i = \frac{RT_i}{p_i} = \frac{287 \cdot 283,6}{0,12 \cdot 10^6} = 0,678 \frac{M^3}{KZ}$$

$$\rho_i = \frac{1}{V_i} = 1,47 \frac{KZ}{M^3}$$

$$W_i = \sqrt{\frac{2k}{k-1} R(T_1 - T_i)} = 483,6 \frac{M}{c}$$

Местная скорость звука:

$$a_i = \sqrt{kRT_i} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 283,6} = 337,6 \frac{M}{c}$$

Число Маха:

$$M_i = \frac{W_i}{a_i} = 1,43 \text{ - сверхзвуковой поток}$$

Геометрические размеры сопла:

а) площадь поперечного сечения

$$f_i = \frac{G}{\rho_i \cdot W_i} = \frac{0,5}{1,47 \cdot 483,6} = 7,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

б) диаметр

$$d_i = 2\sqrt{\frac{f_i}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{7,03 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,0299 \text{ м}$$

$$\text{в) } l_{oi} = \frac{d_i - d_{kp}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,0299 - 0,028}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{10^0}{2}\right)} = 0,011 \text{ м}$$

VI)

$$i = 0,25 \quad \beta_i = 0,25$$

Определяем параметры газа по длине сопла:

$$P_i = \beta_i \cdot P_1 = 0,25 \cdot 0,4 \text{ МПа} = 0,1 \text{ МПа}$$

$$T_i = T_1 \cdot \beta_i^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \cdot 0,25^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 269,2 \text{ К}$$

$$V_i = \frac{RT_i}{p_i} = \frac{287 \cdot 269,2}{0,1 \cdot 10^6} = 0,773 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$\rho_i = \frac{1}{V_i} = 1,294 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$W_i = \sqrt{\frac{2k}{k-1} R(T_1 - T_i)} = 512,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Местная скорость звука:

$$a_i = \sqrt{kRT_i} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 269,2} = 328,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Число Маха:

$$M_i = \frac{W_i}{a_i} = 1,559 \text{ - сверхзвуковой поток}$$

Геометрические размеры сопла:

а) площадь поперечного сечения

$$f_i = \frac{G}{\rho_i \cdot W_i} = \frac{0,5}{1,294 \cdot 512,6} = 7,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

б) диаметр

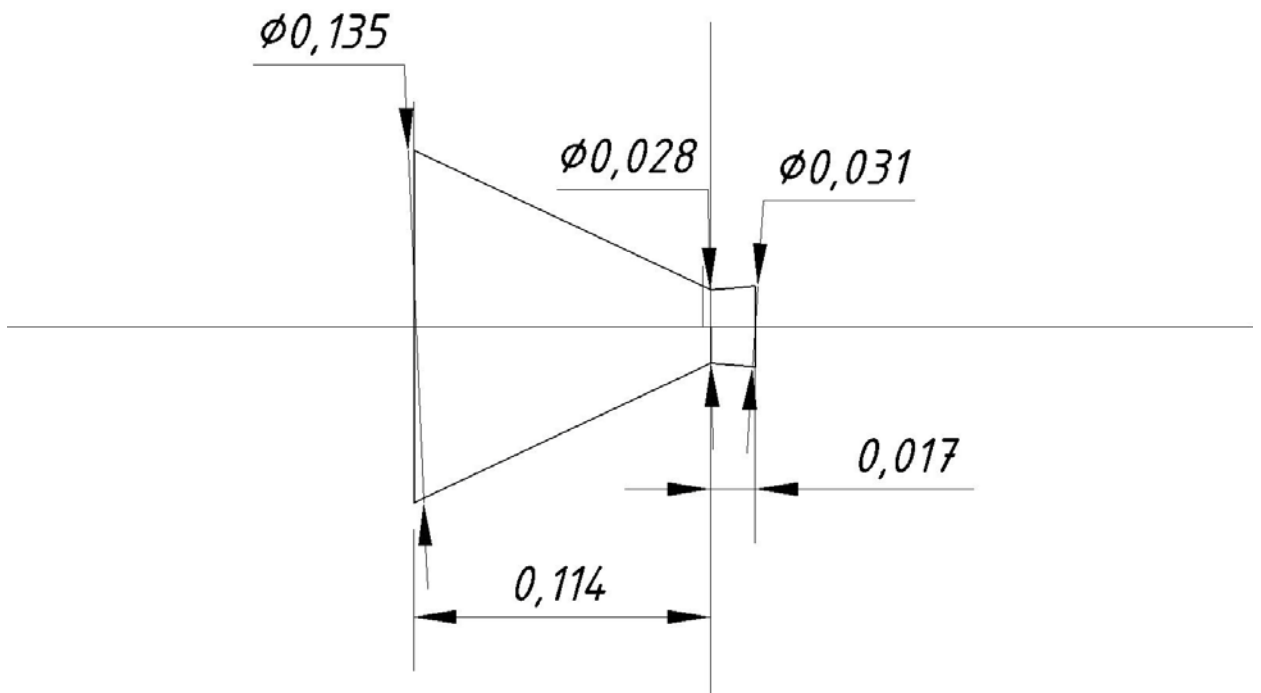
$$d_i = 2\sqrt{\frac{f_i}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{7,54 \cdot 10^{-4}}{\pi}} = 0,031 \text{ м}$$

$$\text{в) } l_{oi} = \frac{d_i - d_{kp}}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{0,031 - 0,028}{2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{10^0}{2}\right)} = 0,017 \text{ м}$$

Данные расчетов сводим в таблицу

	вх	2	3	4	5	вых
	1	0,8	0,528	0,4	0,3	0,25
Р, МПа	0,4	0,32	0,211	0,16	0,12	0,1
Т, К	400	375,3	333,3	307,9	283,6	269,2

$V, \text{ м}^3/\text{кг}$	0,287	0,337	0,453	0,552	0,678	0,773
$\rho, \text{ кг/м}^3$	3,484	2,97	2,205	1,81	1,47	1,294
$W, \text{ м/с}$	10	222,76	366,06	430,14	483,6	512,6
$a, \text{ м/с}$	400,9	388,3	366,0	351,7	337,6	328,9
$M$	0,025	0,574	1	1,223	1,43	1,559
$f, \text{ м}^2$	0,0144	0,000756	0,000619	0,000642	0,000703	0,000754
$d, \text{ м}$	0,135	0,031	0,028	0,0286	0,0299	0,031
$l, \text{ м}$	0,114	0,0032	0	0,00343	0,011	0,017



### Задача 24

Цикл состоит из адиабатического сжатия 1-2, изохорного сжатия 2-3, адиабатического расширения 3-4, и изохорного расширения 4-1

$$\beta = 13$$

$$\Delta t = 320^{\circ} \text{K}$$

$$p_1 = 0,1 \text{ МПа}$$

$$t_1 = 67^{\circ} \text{C}$$

Теплоемкости процессов:  $C_v = 0,718 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ ;

$C_p = 1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$ ;

Газовая постоянная воздуха  $R = 259,8 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$

#### 1.1. Определяем параметры $P, V, T, u, i$ для основных точек цикла:

а) для точки 1 дано:  $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$   $t_1 = 67^{\circ} \text{C}$   $T_1 = 340 \text{ K}$

По заданной температуре и давлению находим удельный объем из уравнения состояния

$$\text{идеального газа } v_1 = \frac{R \cdot T_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 340}{100000} = 0,976 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Условно примем, что при  $t = 67^{\circ} \text{C}$  энтальпия и внутренняя энергия равны 0

б) Для точки 2 дано  $p_2 = p_1 \cdot \beta = 1,3 \text{ МПа}$ , адиабатное сжатие Из уравнения адиабатного процесса  $p \cdot V^k = \text{const}$  находим

$$\beta = \frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^k \text{ решая уравнение относительно неизвестного } v_2, \text{ находим}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{\beta^{\frac{1}{k}}} = \frac{0,976}{13^{\frac{1}{1,4}}} = 0,156 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Температуру в точке 4 определяем из уравнения  $\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$ . Решая уравнение

$$\text{относительно неизвестного } T_2, \text{ получим } T_2 = T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 340 \cdot (13)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 707,5 \text{ K}$$

Или находим температуру с помощью уравнения состояния идеального газа

$$T_2 = \frac{v_2 \cdot p_2}{R} = \frac{0,156 \cdot 1,3 \cdot 10^6}{287} = 706,6 \text{ K}$$

Так как для нахождения данных по точке 3 недостаточно определяем параметры точки 4

в) Для точки 4 дано  $v_4 = v_1 = 0,976 \text{ м}^3 / \text{кг}$ ,  $T_4 = T_1 + \Delta t = 340 + 320 = 660 \text{ K}$

По заданной температуре и удельному объему находим давление в точке в точке 4

$$p_4 = \frac{R \cdot T_4}{v_4} = \frac{287 \cdot 660}{0,976} = 194078 \text{ Па}$$

б) Для точки 3 дано  $p_4 = 194078 \text{ Па}$ ,  $v_3 = v_2 = 0,156 \text{ м}^3 / \text{кг}$   $v_4 = 0,976 \text{ м}^3 / \text{кг}$  адиабатное расширение.

Из уравнения адиабатного процесса  $p \cdot V^k = \text{const}$  находим

$$\frac{p_4}{p_3} = \left( \frac{v_3}{v_4} \right)^k \text{ решая уравнение относительно неизвестного } p_3, \text{ находим}$$



$$p_3 = \frac{p_4}{\left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k} = \frac{194078}{\left(\frac{0,156}{0,976}\right)^{1,4}} = 2528318 \text{ Па} = 2,53 \text{ МПа}$$

Находим температуру с помощью уравнения состояния идеального газа

$$T_3 = \frac{v_3 \cdot p_3}{R} = \frac{0,156 \cdot 2528318}{287} = 1374,3 \text{ К}$$

Характерные точки	Значения параметров состояния газовой смеси		
	p, МПа	v, м <sup>3</sup> / кг	T, К
1	0,1	0,976	340
2	1,3	0,156	706,6
3	2,53	0,156	1374,3
4	0,194	0,976	660

## 2) Изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии в процессах

Процесс 1-2

$$\Delta u_{1-2} = c_v \cdot (T_2 - T_1) = 0,718 \cdot (706,6 - 340) = 263,2 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta h_{1-2} = c_p \cdot (T_2 - T_1) = 1,005 \cdot (706,6 - 340) = 368,4 \text{ кДж / кг}$$

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

Процесс 2-3

$$\Delta u_{2-3} = c_v \cdot (T_3 - T_2) = 0,718 \cdot (1374,3 - 706,6) = 479,4 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta h_{2-3} = c_p \cdot (T_3 - T_2) = 1,005 \cdot (1374,3 - 706,6) = 671,0 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta S_{2-3} = C_v \cdot \ln \frac{T_3}{T_2} = 0,718 \cdot \ln \frac{1374,3}{706,6} = 0,478 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 3-4  $\Delta u_{3-4} = C_v \cdot (T_4 - T_3) = 0,718 \cdot (660 - 1374,3) = -512,9 \text{ кДж / кг}$

$$\Delta h_{3-4} = C_p \cdot (T_4 - T_3) = 1,005 \cdot (660 - 1374,3) = -717,9 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta S_{3-4} = 0 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 4-1  $\Delta u_{4-1} = C_v \cdot (T_1 - T_4) = 0,718 \cdot (340 - 660) = -229,8 \text{ кДж / кг}$

$$\Delta h_{4-1} = C_p \cdot (T_1 - T_4) = 1,005 \cdot (340 - 660) = -321,6 \text{ кДж / кг}$$

$$\Delta S_{4-1} = C_v \cdot \ln \frac{T_1}{T_4} = 0,718 \cdot \ln \frac{340}{660} = -0,476 \text{ кДж / кг}$$

## 3) Работа изменения объема в процессе и количество тепла в процессе

Процесс 1-2

$$l_{1-2} = \frac{p_1 \cdot v_1 - p_2 \cdot v_2}{k - 1} = \frac{100000 \cdot 0,976 - 1300000 \cdot 0,156}{1,4 - 1} = -263000 \text{ Дж / кг} = -263 \text{ кДж / кг}$$

$$q_{1-2} = 0 \text{ кДж / кг}$$

Процесс 2-3  $l_{2-3} = 0 \text{ кДж / кг}$

$$q_{2-3} = \Delta u_{2-3} = 479,4 \text{ кДж / кг}$$

**Процесс 3-4**

$$l_{4-5} = \frac{p_3 \cdot v_3 - p_4 \cdot v_4}{k-1} = \frac{2528318 \cdot 0,156 - 194078 \cdot 0,976}{1,4-1} = 512494 \text{ Дж / кг} =$$

$$= 512,5 \text{ кДж / кг}$$

$$q_{4-5} = 0 \text{ кДж / кг}$$

**Процесс 4-1**  $l_{4-1} = 0 \text{ кДж / кг}$

$$q_{4-1} = C_v \cdot (T_1 - T_4) = 0,718 \cdot (340 - 660) = -229,8 \text{ кДж / кг}$$

Наименование процесса	$\Delta u$ кДж/кг	$\Delta h$ кДж/кг	$\Delta S$ кДж/(кг*К)	$l$ кДж/кг	$q$ кДж/кг
1-2	263,2	368,4	0	-263	0
2-3	479,4	671	0,478	0	479,4
3-4	-512,9	-717,9	0	512,5	0
4-1	-229,8	-321,6	-0,476	0	-229,8
$\Sigma$	-0,1	-0,1	0,002	249,5	249,6

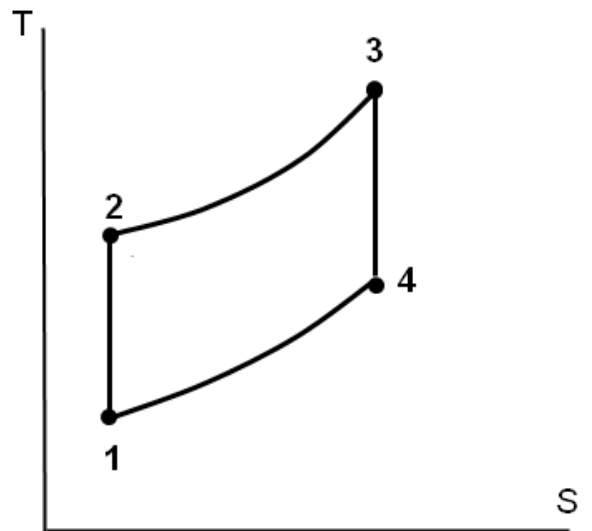
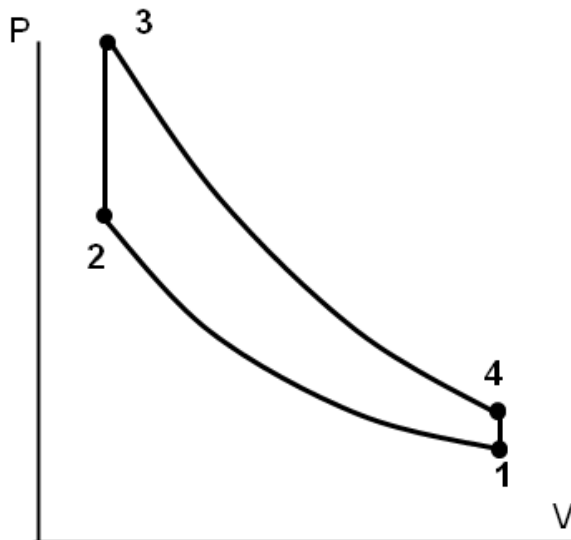
4) Количество тепла, подводимое в цикле  $q_1 = q_{2-3} = 479,4 \text{ кДж / кг}$

5) Количество тепла отводимого в цикле  $q_2 = q_{4-1} = 229,8 \text{ кДж / кг}$

6) Работа цикла  $l_y = l_{1-2} + l_{3-4} = -263 + 512,5 = 249,5 \text{ кДж / кг}$

7) Термический КПД цикла  $\eta_t = \frac{l_y}{q_1} = \frac{249,5}{479,4} = 0,52$  или  $\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{229,8}{479,4} = 0,52$

8) Термический КПД цикла Карно  $\eta_{тк} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{340}{660} = 0,485$



### Задача3

Определяем изменение теплового потока через стенку

$$\Delta q = k \cdot (\Delta t_{\text{нар}} - \Delta t_{\text{вн}}) = 0,94 \cdot (25 - 5) = 18,8 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

По изменению теплового потока вычисляем изменение температуры внутренней стенки из уравнения

$$k = 0,94 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$\alpha_1 = 7,6 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$\Delta t_{\text{нар}} = 25^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{\text{вн}} = 5^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{\text{вн}} - \Delta t_{\text{ст}} = \Delta q \cdot \frac{1}{\alpha_1} \text{ отсюда}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = \Delta t_{\text{вн}} - \Delta q \cdot \frac{1}{\alpha_1} = 5 - 18,8 \cdot \frac{1}{7,6} = 2,52^\circ \text{C}$$

Температура внутренней стенки уменьшится на  $2,52^\circ \text{C}$

---

$$\Delta t_{\text{ст}}$$

**Ответ:**  $\Delta t_{\text{ст}} = 2,52^\circ \text{C}$