

ОТВЕТЫ К КОНТРОЛЬНЫМ КАРТОЧКАМ

Первая цифра соответствует номеру карточки, вторая – номеру вопроса карточки, третья и т.д. – номеру правильного ответа.

В-1	2	1.11-1.	3, 4	2.4-2.	2, 3, 5
1.1-1.	2	1.11-2.	1, 2	2.4-3.	3
1.1-2.	1	1.11-3.	3, 4	2.5-1.	2
1.2-1.	3	1.12-1.	2	2.5-2.	1
1.2-2.	2	1.12-2.	3	2.6-1.	3, 4, 5
1.3-1.	2	1.13-1.	2	2.6-2.	3, 4, 5
1.3-2.	1	1.13-2.	2	2.6-3.	1
1.3-3.	3	1.13-3.	3	3.1-1.	2
1.3-4.	2	1.14-1.	3, 2	3.1-2.	5
1.4-1.	1	1.14-2.	1	3.1-3.	2
1.4-2.	1	1.14-3.	1	3.2-1.	3, 4
1.5-1.	1	1.15-1.	3	3.2-2.	3
1.5-2.	1	1.15-2.	1, 2, 3, 4	3.2-3.	1
1.5-3.	2	2.1-1.	4	3.3-1.	2
1.6-1.	3	2.1-2.	2	3.3-2.	3
1.6-2.	3	2.1-3.	1	3.3-3.	5
1.6-3.	2	2.1-4.	1	3.3-4.	3
1.6-4.	3	2.1-5.	3	3.3-5.	2
1.7-1.	3	2.2-1.	4	3.4-1.	3
1.7-2.	3	2.2-2.	3	3.4-2.	2
1.8-1.	1	2.2-3.	2	3.4-3.	4
1.9-1.	1	2.3-1.	3	3.4-4.	2, 4
1.10-1.	2	2.3-2.	2	3.4-5.	3
1.10-2.	1	2.3-3.	2	3.5-1.	2
1.10-3.	3	2.4-1.	1, 4	3.5-2.	3

3.5-3.	1	4.4-2.	1, 2	6.5-2.	1
3.5-4.	2	4.5-1.	2	6.5-3.	2
3.5-5.	3	4.5-2.	3	7.1-1.	2
3.6-1.	4	4.5-3.	1	7.1-2.	3, 4
3.6-2.	2	4.6-1.	1, 3	7.1-3.	1
3.6-3.	1	4.6-2.	1, 2	7.2-1.	2, 4
3.6-4.	4	5.1-1.	2	7.2-2.	1
3.6-5.	4	5.1-2.	1	7.2-3.	3
3.6-6.	3	5.2-1.	3	7.3-1.	1, 3, 4
3.6-7.	4	5.2-2.	2	7.3-2.	2
3.6-8.	3	5.3-1.	1	8.1-1.	2
3.6-9.	4	5.3-2.	3	8.1-2.	3
3.7-1.	1	5.3-3.	2	8.1-3.	2, 3
3.7-2.	3	5.4-1.	1	8.2-1.	3
3.7-3.	3	5.4-2.	3	8.2-2.	1
3.7-4.	4	5.4-3.	1	8.3-1.	4
3.7-5.	1	6.1-1.	3	8.3-2.	1
3.8-1.	2	6.1-2.	1	8.3-3.	2, 3
3.8-2.	5	6.1-3.	3	9.1-1.	2
3.8-3.	3	6.1-4.	2	9.1-2.	3
3.8-4.	4	6.2-1.	2	9.1-3.	2
3.8-5.	2	6.2-2.	2	9.1-4.	1, 2
4.1-1.	2	6.2-3.	3	9.2-1.	3
4.1-2.	1	6.2-4.	1	9.2-2.	1
4.2-1.	3	6.3-1.	3	9.3-1.	3
4.2-2.	1	6.3-2.	1	9.3-2.	1
4.3-1.	2	6.3-3.	2	9.3-3.	3
4.3-2.	1	6.4-1.	1	10.1-1.	3
4.3-3.	3	6.5-2.	2	10.1-2.	1
4.4-1.	3	6.5-1.	4	10.2-1.	1

10.2-2.	2	10.10-2.	2	12.5-2.	3
10.2-3.	3	10.11-1.	1	12.5-3.	2
10.2-4.	2	10.11-2.	1	12.5-4.	3
10.3-1.	3	10.11-3.	2	12.6-1.	1
10.3-2.	1	10.11-4.	3	12.6-2.	3
10.3-3.	1, 3	10.11-5.	4	12.6-3.	2
10.3-4.	3	10.11-6-a.	2	12.6-4.	2
10.4-1.	1, 2	10.11-6-б.	4	12.7-1.	2
10.4-2.	3	10.11-6-в.	6	12.7-2-a.	2
10.4-3.	3	11.1-1.	1, 2	12.7-2-б.	3
10.4-4.	2	11.1-2.	3	12.7-3.	1
10.5-1.	2, 3	11.1-3.	2	12.7-4.	1
10.5-2.	1	11.1-4.	2, 4, 7, 8, 9, 10	12.7-5-a.	3
10.6-1.	2	11.2-1.	3	12.7-5-б.	2
10.6-2.	3	11.2-2.	3	12.7-5-в.	3
10.6-3.	1	11.2-3.	2, 4	12.7-5-г.	3
10.6-4.	2	11.2-4.	1	13.1-1-a.	2
10.7-1.	2	12.1-1.	2	13.1-1-б.	1
10.7-2.	1	12.1-2.	3	13.1-1-в.	2
10.7-3-a.	3	12.1-3.	2, 3	13.1-1-г.	3
10.7-3-б.	1	12.2-1.	3	13.1-1-д.	1
10.8-1.	1	12.2-2.	3	13.1-2.	3
10.8-2.	2	12.2-3.	1, 3	13.2-1.	1
10.8-3.	4	12.2-4.	2, 3	13.2-2.	4
10.8-4.	1, 2, 3	12.3-1.	1, 2	13.2-3.	4
10.9-1.	2	10.3-2.	3, 4	13.2-4.	1
10.9-2.	3	12.4-1.	4	13.2-5.	3
10.9-3.	2	12.4-2.	1	13.2-6.	2
10.9-4.	1	12.4-3.	2, 4		
10.10-1.	2, 3	12.5-1.	2		

ОТВЕТЫ К КОНТРОЛЬНЫМ ВОПРОСАМ

Раздел I

1. 1, 5
2. 2
3. 3
4. 2
5. 1, 3
6. 1
7. 3
8. 2
- 9-а. 1
- 9-б. 2
- 9-в. 4
10. 3
11. 1
12. 4
13. 2
14. 1
15. 2
16. 1
17. 1, 3
- 18-а. 1
- 18.б. 2, 3, 5
19. 3, 4
20. 4
21. $\mu_I < \mu_{II}; R_I > R_{II}$
- 22-1. $V_{\mu_I} = V_{\mu_{II}}$ согласно следствию из закона Авогадро
- 22-2. Из уравнения состояния $p\nu = RT$ следует, что $\nu \sim R$, но $R_I < R_{II}$, т.к. $\mu_I > \mu_{II}$ следовательно, $\nu_I < \nu_{II}$

- 23-1. $R_I = R_{II}$, т.к. $\mu_I = \mu_{II}$
- 23-2. Из уравнения состояния $pV = mRT$, следует что $p \sim R$, поэтому
 $p_I < p_{II}$
- 24-а. 3
- 24-б. 1
25. 2
26. 2
27. 5
28. 1
29. 3
30. 2
31. 4
32. 4
33. изохора-4, адиабата-2, изобара-1
34. 1
35. 2
36. 1
37. 1
38. 1
39. 4
40. 4

Раздел II

1. 1
2. 1
3. 3
4. 2
5. 1

Раздел III

1.	2
2.	3
3.	1
4.	4
5.	4
6.	2
7.	4
8.	2
9.	1
10.	3
11.	2
12.	3
13.	3
14.	4

Раздел IV

1.	$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$
2.	4
3.	4
4.	3, 6
5.	2, 6
6.	2
7.	2
8.	3
9.	2
10.	2
11.	1
12.	1

$$13. \quad \frac{dp}{dT} = \frac{r}{T_s(\nu_n - \nu_{жс})}$$

14. 1

15. 2, 8, 9

16. 2

17. 3

18-а. 3

18-б. 2

18-в. 1

19. 3, 4

Раздел V

1. 3

2. 1

3. 2

4. 2

5. 2

6. 1

7-а 2

7-б 1

8-а 1

8-б 1

9. В обоих соплах режим истечения надкритический, поэтому

$$W \sim \sqrt{RT_1}; \quad m \sim \frac{P_1}{\sqrt{RT_1}}, \quad \text{откуда } W_1 < W_2; \quad m_1 < m_2$$

10. $m_1 = m_3 < m_2$

11. $W_1 = W_2 < W_3$

12. 2

13. $m_1 < m_3 < m_2$

14. $W_1 < W_2 < W_3; \quad m_1 < m_2 > m_3$

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

Раздел I

1. $m_{\text{возд}} = 70 - 65 = 5 \text{ кг}; p = \frac{mRT}{V} = \frac{5 \cdot 287 \cdot 288}{40 \cdot 10^{-3}} = 103,68 \cdot 10^5 \text{ Па}$

2. $m_1 = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{(9+1) \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{259,8 \cdot 293} = 1,288 \text{ кг};$

$$R_{O_2} = \frac{R_\mu}{\mu_{O_2}} = \frac{8314}{32} 259,8 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$$m_2 = \frac{p_2 V}{RT_2} = \frac{(104+1) \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{259,8 \cdot 343} = 11,56 \text{ кг};$$

$$m_{\text{подк}} = 11,56 - 1,288 - 10,27 \text{ кг}$$

3. $m = 7 \text{ кг}, V = 37,56 \text{ м}^3$

4. $R = 296,9 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}; \nu = 0,171 \text{ м}^3/\text{кг}$

5. $V_\mu = 1,5 \text{ м}^3/\text{кмоль}$

6. $p_{\text{абс}} = p_B - p_B = 750 - 240 = 510 \text{ мм. рт. ст.};$

$$R_{H_2} = \frac{R_\mu}{\mu_{H_2}} = \frac{8314}{2} = 4157 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$$

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{510}{735,6} \cdot 9,81 \cdot 10^4}{4157 \cdot 298} = 0,055 \text{ кг}/\text{м}^3$$

7. $m = 52,3 \text{ кг}$

8. $\mu_{\text{см}} = \sum \mu_i r_i = 44 \cdot 0,128 + 32 \cdot 0,072 + 28 \cdot 0,80 = 30,35;$

$$R_{\text{см}} = \frac{8314}{\mu_{\text{см}}} = 274 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad \nu = \frac{RT}{p} = \frac{274 \cdot 1078 \cdot 735,6}{750 \cdot 9,8 \cdot 10^4} = 2,95 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\rho = \frac{1}{\nu} = 0,338 \text{ кг}/\text{м}^3$$

9. $\mu_{\text{см}} = \sum_i \mu_i r_i = 0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28 = 28,9; R_{\text{см}} = \frac{8314}{\mu_{\text{см}}} = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К});$

$$M_{cm} = \frac{m_{cm}}{\mu_{cm}} = \frac{4}{28,9} = 0,138 \text{ кмоль}; \rho_{cm} = \frac{p_{cm}}{R_{cm} T_{cm}} = \frac{5 \cdot 10^5}{287 \cdot 323} = 5,38 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{cm} = \frac{m_{cm}}{\rho_{cm}} = \frac{4}{5,38} = 0,742 \text{ м}^3; g_{O_2} = r_{O_2} \frac{\mu_{O_2}}{\mu_{cm}} = 0,21 \frac{32}{28,9} = 0,232;$$

$$g_{N_2} = 0,768; m_{O_2} = m_{cm} \cdot g_{O_2} = 0,93 \text{ кг}; m_{N_2} = 3,07 \text{ кг}$$

10. $g_{CO_2} = 0,51; g_{N_2} = 0,49$

11. $2,54 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

12. $c_{p_m} = c_p \Big|_{400}^{1000} = 0,87 + 0,000481 \frac{400 + 1000}{2} = 1,206 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

13. $Q = m \cdot c_{p_m} (t_2 - t_1) = 3 \cdot \frac{28,5 + 0,0054(100 + 1000)}{28} \cdot (1000 - 100) = 3330 \text{ кДж}$

14. 2580 кДж

15. $p_2 = 13,8 \text{ бар}; Q = -1268 \text{ кДж}$

16. $\frac{V_2}{V_1} = 1,99; Q = 978 \text{ кДж}; L = 168 \text{ кДж}; \Delta U = 810 \text{ кДж};$

$$c_v = 1,42 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); k = \frac{c_p}{c_v} = 1,2$$

17. Из формулы работы $L = mRT \ln \frac{V_2}{V_1}$ находим $\frac{V_2}{V_1}$, а затем V_2 по

уравнению состояния $p_2 V_2 = mRT_2$ давление определяем $p_2 = 2,11 \cdot 10^5$

Па; при $T = \text{const}$, $Q = L = 11760 \text{ Дж}$

18. $T_2 = 304,8 \text{ К}; l = 192433 \text{ Дж/кг}$

19. $l = -303,4 \text{ кДж/кг}; \frac{V_1}{V_2} \approx 7$

20. $Q = mc_p \Delta T; L = p \Delta V = mR \Delta T$, откуда $\frac{Q}{L} = \frac{c_p}{R}$, $L = 11,99 \text{ кДж}$

Раздел II

$$1. \quad \eta_t = \frac{1}{q_1} = \frac{360}{800} = 0,45$$

$$q_2 = q_1 - l = 800 - 360 = 440 \text{ кДж/кг}$$

$$2. \quad \eta_{t_k} = \frac{q_1 - q_2}{q_1}; \text{ в изотермическом процессе } q_T = l; 0,6 \cdot 50 = 50 - q_2;$$

$$l_{сж} = q_2 = 20 \text{ кДж/кг}$$

$$3. \quad \eta_{t_k} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{450}{1000} = 0,55; \quad \eta_{t_k} = \frac{q_1 - q_2}{q_1}; 0,55 \cdot 80 = 80 - q_2;$$

$$q_2 = 36 \text{ кДж/кг.}$$

Раздел III

$$1. \quad q_{1-2} = c_v(T_2 - T_1); \quad T_2 = \frac{q_1 + c_v T_1}{c_v} = \frac{200 + 0,71(27 + 273)}{0,71} = 581,7 \text{ К};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 1,05 \cdot \frac{581,7}{300} = 2,03 \text{ ата};$$

$$T_3 = T_2 \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 581,7 \left(\frac{1,05}{2,03} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 482 \text{ К};$$

$$q_{3-1} = c_p(T_1 - T_3) = 0,71 \cdot 1,4(300 - 482) = -181 \text{ кДж/кг};$$

$$l_u = q_{1-2} - q_{3-1} = 200 - 181 = 19 \text{ кДж/кг}; \quad \eta_t = \frac{l}{q_1} = \frac{19}{200} = 0,095$$

$$2. \quad T_c = T_a \left(\frac{P_c}{P_a} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 273 \left(\frac{55}{1} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 855,4 \text{ К}; \quad v_a = \frac{RT_a}{P_a} = \frac{287 \cdot 273}{9,81 \cdot 10^4} = 0,8 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$T_{b'} = \frac{P_{b'} v_{b'}}{R} = \frac{3,5 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 0,8}{287} = 953 \text{ К};$$

$$T_z = T_{b'} \left(\frac{P_z}{P_{b'}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 953 \left(\frac{55}{3,5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 2089 \text{ К};$$

$$T_b = T_z \left(\frac{P_b}{P_z} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 2089 \left(\frac{1}{55} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 666,7 \text{ К};$$

$$q_{c-z} = c_p(T_z - T_c) = 0,71 \cdot 1,4(2089 - 855,4) = 1226,2 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{b-a} = c_p(T_a - T_b) = 0,71 \cdot 1,4(273 - 666,7) = -391,3 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{b'-a} = c_v(T_a - T_{b'}) = 0,71(273 - 953) = -482,8 \text{ кДж/кг};$$

$$h_{t_{abcd}} = \frac{q_{c-z} - q_{b-a}}{q_{c-z}} = \frac{1226,2 - 391,3}{1226,2} = 0,68;$$

$$h_{t_{aczb'}} = \frac{q_{c-z} - q_{b'-a}}{q_{c-z}} = \frac{1226,2 - 482,8}{1226,2} = 0,6$$

3. $\eta_t = 0,54; \eta_{t_k} = 0,81.$

4. $T_1 = \frac{P_1 \nu_1}{R} = \frac{1 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 1}{287} = 340 \text{ К}; \nu_2 = \nu_1 \frac{P_1}{P_2} = 1 \cdot \frac{1}{5} = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг};$

$$P_3 = P_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 5 \cdot \frac{2000}{340} = 29,4 \text{ ата}; T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{n-1} = 2000 \left(\frac{0,2}{1} \right)^{1,5-1} = 894,4 \text{ К};$$

$$P_4 = P_1 \cdot \frac{T_4}{T_1} = 1 \cdot \frac{894,4}{340} = 2,63 \text{ ата};$$

$$q_{1-2} = RT_1 \ln \frac{P_1}{P_2} = 287 \cdot 340 \ln \frac{1}{5} = -157596 \text{ Дж/кг} = -157,6 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{2-3} = c_v(T_3 - T_2) = 0,71(2000 - 340) = 1178,6 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{3-4} = c_v \frac{n - \kappa}{n - 1} \cdot (T_4 - T_3) = 0,71 \frac{1,5 - 1,4}{1,5 - 1} (894,4 - 2000) = -157 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{4-1} = c_v(T_1 - T_4) = 0,71(340 - 894,4) = -393,6 \text{ кДж/кг};$$

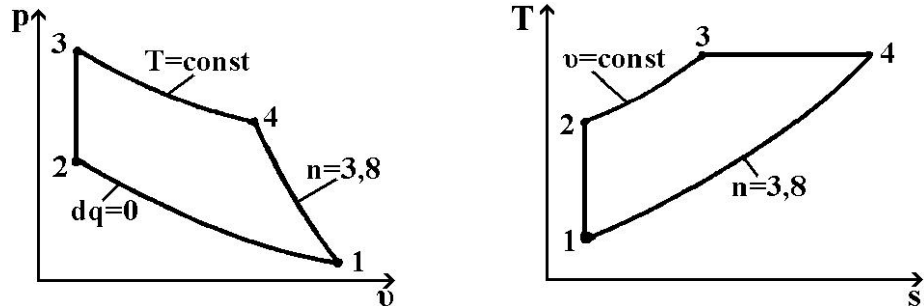
$$l_y = q_{2-3} - q_{1-2} - q_{3-4} - q_{4-1} = 470,4 \text{ кДж/кг}; \eta_t = \frac{l_y}{q_{2-3}} = \frac{470,4}{1178,6} = 0,4;$$

$$\Delta s_{3-4} = c_v \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_4}{T_3} = 0,71 \frac{1,5 - 1,4}{1,5 - 1} \ln \frac{894,4}{2000} = -0,114 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)};$$

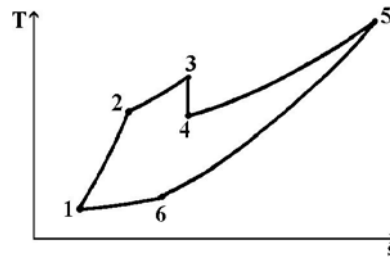
$$\Delta u_{3-4} = c_v(T_4 - T_3) = 0,71(894,4 - 2000) = -785 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta i_{3-4} = c_p(T_4 - T_3) = 0,71 \cdot 1,4(894,4 - 2000) = -1099 \text{ кДж/кг}$$

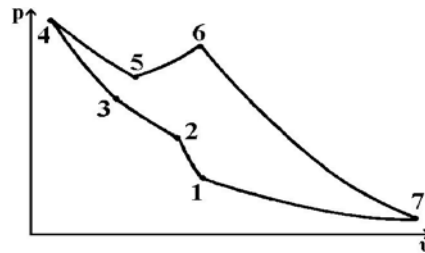
5. $v_1 = 0,084 \text{ м}^3/\text{кг}$; $v_2 = 0,028 \text{ м}^3/\text{кг}$; $T_2 = 447 \text{ К}$; $P_2 = 46 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $T_3 = 667,6 \text{ К}$;
 $v_4 = 0,062 \text{ м}^3/\text{кг}$; $P_4 = 31 \cdot 10^5 \text{ Па}$; $n = 3,8$; $l_u = 78,5 \text{ кДж/кг}$; $\eta_i = 0,253$



6.



7.



8. $L_{uzom} = P_3 V_3 \ln \frac{P_3}{P_1} = 5 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \ln \frac{5}{1} = 78,94 \text{ кДж/ч}$;

$$N_{uzom} = \frac{L_{uzom}}{3600} = 21,92 \text{ кВт};$$

$$L_{ad} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} P_2 V_3 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 5 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \left[\left(\frac{5}{1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} - 1 \right] = 99,91 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч};$$

$$N_{ad} = \frac{L_{ad}}{3600} = \frac{99,91 \cdot 10^3}{3600} = 27,75 \text{ кВт};$$

$$L_{пол} = \frac{n}{n-1} P_2 V_3 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1,25}{1,25-1} \cdot 5 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \left[\left(\frac{5}{1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} - 1 \right] = 93,12 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч};$$

$$N_{пол} = \frac{L_{пол}}{3600} = \frac{93,12 \cdot 10^3}{3600} = 25,86 \text{ кВт};$$

$$Q_{изот} = mRT \ln \frac{P_1}{P_2} = 567 \cdot 287 \cdot 300 \ln \frac{1}{5} = -78,84 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч};$$

$$m = \frac{P_2 V_3}{RT_3} = \frac{5 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100}{287 \cdot 300} = 567 \text{ кг/ч}; \quad Q_{ad} = 0;$$

$$Q_{пол} = m c_v \frac{n-\kappa}{n-1} \cdot (T_2 - T_1) = 567 \cdot 0,71 \frac{1,25-1,4}{1,25-1} (413,9 - 300) = -27,5 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч};$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 300 \left(\frac{5}{1} \right)^{\frac{1,25-1}{1,25}} = 413,9 \text{ К}$$

$$9. \quad \pi_{3^x ст} = \sqrt[3]{\frac{P_{кон}}{P_{нач}}} = \sqrt[3]{\frac{125}{1}} = 5;$$

$$L_{3^x ст} = 3 \cdot \frac{n}{n-1} P_6 V_7 \left(\pi^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) = 3 \cdot \frac{1,3}{1,3-1} \cdot 125 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \left(5^{\frac{1,3}{1,3-1}} - 1 \right) = 71,4 \cdot 10^5 \text{ кДж/ч};$$

$$N_{3^x ст} = \frac{71,4 \cdot 10^5}{3600} = 1983 \text{ кВт}; \quad \pi_{2^x ст} = \sqrt{\frac{P_{кон}}{P_{нач}}} = \sqrt{\frac{125}{1}} = 11,2;$$

$$L_{2^x ст} = 2 \cdot \frac{n}{n-1} P_{кон} V_{кон} \left(\pi^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) = 2 \cdot \frac{1,3}{1,3-1} \cdot 125 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \left(11,2^{\frac{1,3}{1,3-1}} - 1 \right) = 78,97 \cdot 10^5 \text{ кДж/ч};$$

$$N_{2^x ст} = \frac{78,97 \cdot 10^5}{3600} = 2193 \text{ кВт}; \quad \pi_{одност} = \frac{P_{кон}}{P_{нач}} = \frac{125}{1} = 125;$$

$$L_{одност} = \frac{1,3}{1,3-1} \cdot 125 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 100 \left(125^{\frac{1,3}{1,3-1}} - 1 \right) = 108,18 \cdot 10^5 \text{ кДж/ч};$$

$$N_{одност} = \frac{108,18 \cdot 10^5}{3600} = 3005 \text{ кВт}$$

$$10. \quad N_{одност} = 22,68 \text{ кВт}$$

$$11. \quad P_2 = P_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 1 \cdot \left(\frac{473}{300} \right)^{1,4-1} = 4,92 \text{ ата}; \quad \pi = \frac{P_2}{P_1} = \frac{4,92}{1} = 4,92; \quad \pi = \sqrt[m]{\frac{P_{\text{кон}}}{P_{\text{нач}}}};$$

$$4,92 = \sqrt[m]{\frac{400}{1}}; \quad m = \frac{\ln 400}{\ln 4,92} = 3,76; \quad \text{число ступеней } m=4.$$

$$12. \quad m_{\text{возд}} = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{0,9 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 250}{287 \cdot 298} = 257 \text{ кг/ч};$$

$$Q_{\text{возд}} = m_{\text{возд}} c_{v, \text{возд}} \frac{n-\kappa}{n-1} \cdot (T_2 - T_1) = 257 \cdot 0,71 \frac{1,2-1,4}{1,2-1} (428,2 - 298) = -23,75 \cdot 10^3 \text{ кДж/ч};$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = 298 \left(\frac{8}{0,9} \right)^{1,2-1} = 428,2 \text{ К}; \quad Q_{\text{вод}} = Q_{\text{возд}} \text{ (без учета потерь);}$$

$$Q_{\text{вод}} = m_{\text{вод}} \cdot c_{\text{вод}} \cdot \Delta T_{\text{вод}}; \quad m_{\text{вод}} = \frac{Q_{\text{вод}}}{c_{\text{вод}} \Delta T_{\text{вод}}} = \frac{23,75 \cdot 10^3}{4,18 \cdot 15} = 378,8 \text{ кг/ч}.$$

$$13. \quad N=462,6 \text{ кВт}$$

Раздел IV

$$1. \quad \nu = 0,1 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad t = 213^\circ\text{C}; \quad h = 2796 \text{ кДж/кг}; \quad s = 6,33 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

$$2. \quad \nu = 0,31 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad t = 152^\circ\text{C}; \quad h = 2325 \text{ кДж/кг}; \quad s = 5,83 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

$$3. \quad \nu = 0,058 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad h = 3198 \text{ кДж/кг}; \quad s = 6,65 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

$$4. \quad x = 0,88; \quad \nu_x = 0,19 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad m = \frac{V_x}{\nu_x} = \frac{10}{0,19} = 52,7 \text{ кг}$$

$$5. \quad \Delta H = m(h_2 - h_1) = 4(3210 - 2260) = 3800 \text{ кДж};$$

$$Q = \Delta U = \Delta H - V(p_2 - p_1) = 3800 - 4,03(10 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^5) \cdot 10^{-3} = 3200 \text{ кДж};$$

$$L = 0$$

$$6. \quad \Delta h = h_2 - h_1 = 2300 - 3075 = -775 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta u = \Delta h - p(\nu_2 - \nu_1) = -775 - 0,5 \cdot 10^5 (2,7 - 6,3) \cdot 10^{-3} = 595 \text{ кДж/кг};$$

$$l = q - \Delta u = -180 \text{ кДж/кг} \text{ или } l = p(\nu_2 - \nu_1) = -180 \text{ кДж/кг}$$

$$7. \quad \Delta h = 2860 - 2260 = 600 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta u = \Delta h - (p_2 \nu_2 - p_1 \nu_1) = 600 - (0,14 \cdot 10^5 \cdot 14,6 - 8 \cdot 10^5 \cdot 0,18) \cdot 10^{-3} = 540 \text{ кДж/кг};$$

$$q = T(s_2 - s_1) = (170 + 273)(8,62 - 5,67) = 1310 \text{ кДж/кг};$$

$$l = q - \Delta u = 770 \text{ кДж/кг}$$

$$8. \quad l = -\Delta u = -\Delta h + (p_2 v_2 - p_1 v_1) = -(2125 - 3040) + (0,06 \cdot 10^5 \cdot 19 - 14 \cdot 10^5 \cdot 0,183) \cdot 10^{-3} = 773 \text{ кДж/кг}$$

$$9. \quad \eta_t = 0,206; \quad l_u = 138 \text{ кДж/кг}$$

$$10. \quad \eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - q_{жс}} = \frac{3247 - 2472}{3247 - 4,19 \cdot 82} = 0,267; \quad q_{жс} = c_{\epsilon} \cdot t_{\epsilon}; \quad x_2 = 0,928$$

Раздел V

$$1. \quad W = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa - 1} RT_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]} = 314 \text{ м/с};$$

$$m = f \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa - 1} \frac{p_1^2}{RT_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]} = 2,8 \text{ кг/с}$$

$$2. \quad W_{кр} = 550 \text{ м/с}; \quad W_2 = 1200 \text{ м/с}; \quad d_{кр} = 10 \text{ мм}; \quad d_2 = 21 \text{ мм}$$

$$3. \quad W = 313 \text{ м/с}; \quad m = 5,55 \text{ кг/с}$$

$$4. \quad m = 1,68 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с};$$

а) не изменится;

б) уменьшится, так как режим истечения становится подкритическим

$$5. \quad \text{а) докритическая, } W = 1003 \text{ м/с};$$

б) надкритический, $W = 1393 \text{ м/с};$

в) надкритический, $W = 287 \text{ м/с}$

$$6. \quad W = 302 \text{ м/с}; \quad m = 4,85 \text{ кг/с}; \quad W \text{ не изменится}; \quad m \text{ возрастает в 4 раза}$$

$$7. \quad m = 0,905 \text{ кг/с}; \quad d_2 = 5,27 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$