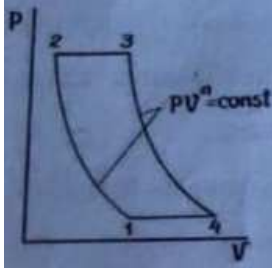


Вариант 15

358



№	P ₁ бар	T ₁ К	P ₂ бар	T ₂ К	T ₃ К	T ₄ К	n	раб. тело
1	4	500	—	765	935	—	1,2	O ₂
2	2	370	18	—	—	420	1,35	возд.
3	1,0	290	—	410	800	—	1,45	N ₂
4	5	450	25	—	—	500	1,25	CO
5	2,8	307	—	500	600	—	1,3	возд.
6	1,5	330	12	—	—	390	1,5	CO ₂

Дано:

P₁ := 1 бар; T₁ := 290 К T₂ := 410 К T₃ := 800 К n := 1.45 N₂

Решение:

Мольная масса :

$$\mu := 28 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Показатель адиабаты азота:

$$k := 1.4$$

Газовая постоянная :

$$R := \frac{8314}{\mu} \quad R = 296.9 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Мольные теплоемкости двухатомных газов:

$$\mu C_v := 20.8 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$$

$$\mu C_p := \mu C_v + 8.314 \quad \mu C_p = 29.1 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$$

Массовые теплоемкости газа:

$$C_v := \frac{\mu C_v}{\mu} \quad C_v = 0.743 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$C_p := \frac{\mu C_p}{\mu} \quad C_p = 1.04 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Удельный объем точки 1 :

$$v_1 := \frac{R \cdot T_1}{P_1 \cdot 10^5} = 0.861 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Температура точки 1 :

$$t_1 := T_1 - 273 = 17 \quad \text{С}$$

Расчет политропного процесса 1-2

$$T_2 = 410 \quad \text{К}$$

$$t_2 := T_2 - 273 = 137 \quad \text{С}$$

$$P_2 := P_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} = 3.052 \quad \text{бар}$$

$$v_2 := \frac{R \cdot T_2}{P_2 \cdot 10^5} = 0.399 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Работа изменения объема:

$$w_{12} := \frac{R \cdot 10^{-3}}{n-1} \cdot (T_1 - T_2) = -79.2 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Внешняя работа:

$$L_{12} := n \cdot w_{12} = -114.8 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теплота:

$$q_{12} := C_v \cdot \frac{n-k}{n-1} \cdot (T_2 - T_1) = 9.9 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta u_{12} := C_v \cdot (T_2 - T_1) = 89.1 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta h_{12} := C_p \cdot (T_2 - T_1) = 124.8 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтропии:

$$\Delta S_{12} := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0.029 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Расчет изобарного процесса 2-3

Давление :

$$P_3 := P_2 \quad P_3 = 3.052 \quad \text{бар}$$

Температура точки 3 :

$$T_3 = 800 \quad \text{К}$$

$$t_3 := T_3 - 273 = 527 \quad \text{С}$$

Удельный объем точки 3 :

$$v_3 := \frac{R \cdot T_3}{P_3 \cdot 10^5} \quad v_3 = 0.778 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Работа изменения объема:

$$w_{23} := P_2 \cdot 10^2 \cdot (v_3 - v_2) \quad w_{23} = 115.8 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Внешняя работа:

$$L_{23} := 0 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теплота:

$$q_{23} := C_p \cdot (T_3 - T_2) \quad q_{23} = 405.5 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta u_{23} := C_v \cdot (T_3 - T_2) \quad \Delta u_{23} = 289.7 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta h_{23} := C_p \cdot (T_3 - T_2) \quad \Delta h_{23} = 405.5 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтропии:

$$\Delta S_{23} := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \quad \Delta S_{23} = 0.695 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Расчет политропного процесса 3-4

Давление точки 4 :

$$P_4 := P_1 = 1 \quad \text{бар}$$

Удельный объем точки 4 :

$$v_4 := v_3 \cdot \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{1}{n}} = 1.68 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

Температура точки 4:

$$T_4 := \frac{P_4 \cdot 10^5 \cdot v_4}{R} = 565.9 \quad \text{К}$$

$$t_4 := T_4 - 273 = 292.9 \text{ C}$$

Работа изменения объема:

$$w_{34} := \frac{R \cdot 10^{-3}}{n - 1} \cdot (T_3 - T_4) = 154.5 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Внешняя работа:

$$L_{34} := n \cdot w_{34} = 224 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теплота:

$$q_{34} := C_v \cdot \frac{n - k}{n - 1} \cdot (T_4 - T_3) = -19.3 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta u_{34} := C_v \cdot (T_4 - T_3) = -173.9 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta h_{34} := C_p \cdot (T_4 - T_3) = -243.5 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтропии:

$$\Delta S_{34} := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_4}{T_3}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_4}{P_3}\right) = -0.029 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Расчет изобарного процесса 4-1

Внешняя работа:

$$L_{41} := 0 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Работа изменения объема:

$$w_{41} := P_1 \cdot 10^2 (v_1 - v_4) \quad w_{41} = -81.9 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теплота:

$$q_{41} := C_p \cdot (T_1 - T_4) \quad q_{41} = -286.8 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta u_{41} := C_v \cdot (T_1 - T_4) \quad \Delta u_{41} = -204.9 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтальпии:

$$\Delta h_{41} := C_p \cdot (T_1 - T_4) \quad \Delta h_{41} = -286.8 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Изменение энтропии:

$$\Delta S_{41} := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_4}\right) \quad \Delta S_{41} = -0.695 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Подведенная теплота цикла

$$q_1 := q_{23} + q_{34} \quad q_1 = 386.2 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Отведенная теплота цикла

$$q_2 := |q_{41} + q_{12}| \quad q_2 = 276.9 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Работа цикла

$$l_0 := q_1 - q_2 \quad l_0 = 109.3 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Термический КПД цикла

$$\eta_t := \frac{l_0}{q_1} \quad \eta_t = 0.283$$

Калорические параметры газа в точках цикла

Внутренняя энергия газа в точках

$$u_1 := C_v \cdot t_1 = 12.629 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$u_2 := C_v \cdot t_2 = 101.771 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$u_3 := C_v \cdot t_3 = 391.486 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$u_4 := C_v \cdot t_4 = 217.548 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Энтальпия газа в точках

$$i_1 := C_p \cdot T_1 = 301.5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$i_2 := C_p \cdot T_2 = 426.3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$i_3 := C_p \cdot T_3 = 831.8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$i_4 := C_p \cdot T_4 = 588.4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Энтропия газа в точках

$$s_1 := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_1}{273}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_1}{1}\right) = 0.063 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$s_2 := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_2}{273}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_2}{1}\right) = 0.092 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$s_3 := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_3}{273}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_3}{1}\right) = 0.787 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$s_4 := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_4}{273}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_4}{1}\right) = 0.758 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Политропный процесс

$i := 0..10$

$$P_{12_i} := P_1 + \frac{i \cdot (P_2 - P_1)}{10}$$

$P_{12} =$

	0
0	1
1	1.205
2	1.41
3	1.616
4	1.821
5	2.026
6	2.231
7	2.436
8	2.642
9	2.847
10	3.052

$$v_{12} := v_1 \cdot \left(\frac{P_1}{P_{12}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$v_{12} =$

	0
0	0.861
1	0.757
2	0.679
3	0.619
4	0.57
5	0.529
6	0.495
7	0.466
8	0.441
9	0.419
10	0.399

$$T_{12} := \frac{P_{12} \cdot 10^5}{R \cdot v_{12}^{-1}}$$

	0
0	290
1	307.294
2	322.66
3	336.552
4	349.275
5	361.044
6	372.017
7	382.315
8	392.031
9	401.239
10	410

$$\Delta S_{12} := s_1 + C_p \cdot \ln\left(\frac{T_{12}}{T_1}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_{12}}{P_1}\right)$$

	0
0	0.063
1	0.068
2	0.072
3	0.075
4	0.078
5	0.081
6	0.083
7	0.086
8	0.088
9	0.09
10	0.092

Изобарный процесс

$$v_{23_i} := v_2 + \frac{i \cdot (v_3 - v_2)}{10} \quad v_{23} =$$

	0
0	0.399
1	0.437
2	0.475
3	0.513
4	0.551
5	0.589
6	0.627
7	0.665
8	0.702
9	0.74
10	0.778

$$P_{23_i} := P_2 \quad P_{23} =$$

	0
0	3.052
1	3.052
2	3.052
3	3.052
4	3.052
5	3.052
6	3.052
7	3.052
8	3.052
9	3.052
10	3.052

$$T_{23} := \frac{P_{23} \cdot 10^5}{R \cdot v_{23}^{-1}} =$$

	0
0	410
1	449
2	488
3	527
4	566
5	605
6	644
7	683
8	722
9	761
10	800

$$\Delta S_{23} := s_2 + C_p \cdot \ln\left(\frac{T_{23}}{T_2}\right) =$$

	0
0	0.092
1	0.186
2	0.273
3	0.353
4	0.427
5	0.496
6	0.561
7	0.622
8	0.68
9	0.735
10	0.787

Политропный процесс

$$P_{34_i} := P_3 + \frac{i \cdot (P_4 - P_3)}{10}$$

$$P_{34} =$$

	0
0	3.052
1	2.847
2	2.642
3	2.436
4	2.231
5	2.026
6	1.821
7	1.616
8	1.41
9	1.205
10	1

$$v_{34} := v_3 \cdot \left(\frac{P_3}{P_{34}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$v_{34} =$$

	0
0	0.778
1	0.817
2	0.86
3	0.909
4	0.966
5	1.032
6	1.111
7	1.207
8	1.325
9	1.477
10	1.68

$$T_{34} := \frac{P_{34} \cdot 10^5}{R \cdot v_{34}^{-1}} =$$

	0
0	800
1	782.905
2	764.938
3	745.98
4	725.887
5	704.476
6	681.512
7	656.686
8	629.58
9	599.597
10	565.854

$$\Delta S_{34} := s_3 + C_p \cdot \ln\left(\frac{T_{34}}{T_3}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_{34}}{P_3}\right) =$$

	0
0	0.7866
1	0.7848
2	0.7829
3	0.7808
4	0.7785
5	0.7761
6	0.7733
7	0.7702
8	0.7667
9	0.7627
10	0.7579

Изобарный процесс

$$v_{41_i} := v_4 + \frac{i \cdot (v_1 - v_4)}{10}$$

$$v_{41} =$$

	0
0	1.68
1	1.598
2	1.516
3	1.434
4	1.353
5	1.271
6	1.189
7	1.107
8	1.025
9	0.943
10	0.861

$$P_{41_i} := P_1$$

$$P_{41} =$$

	0
0	1
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1

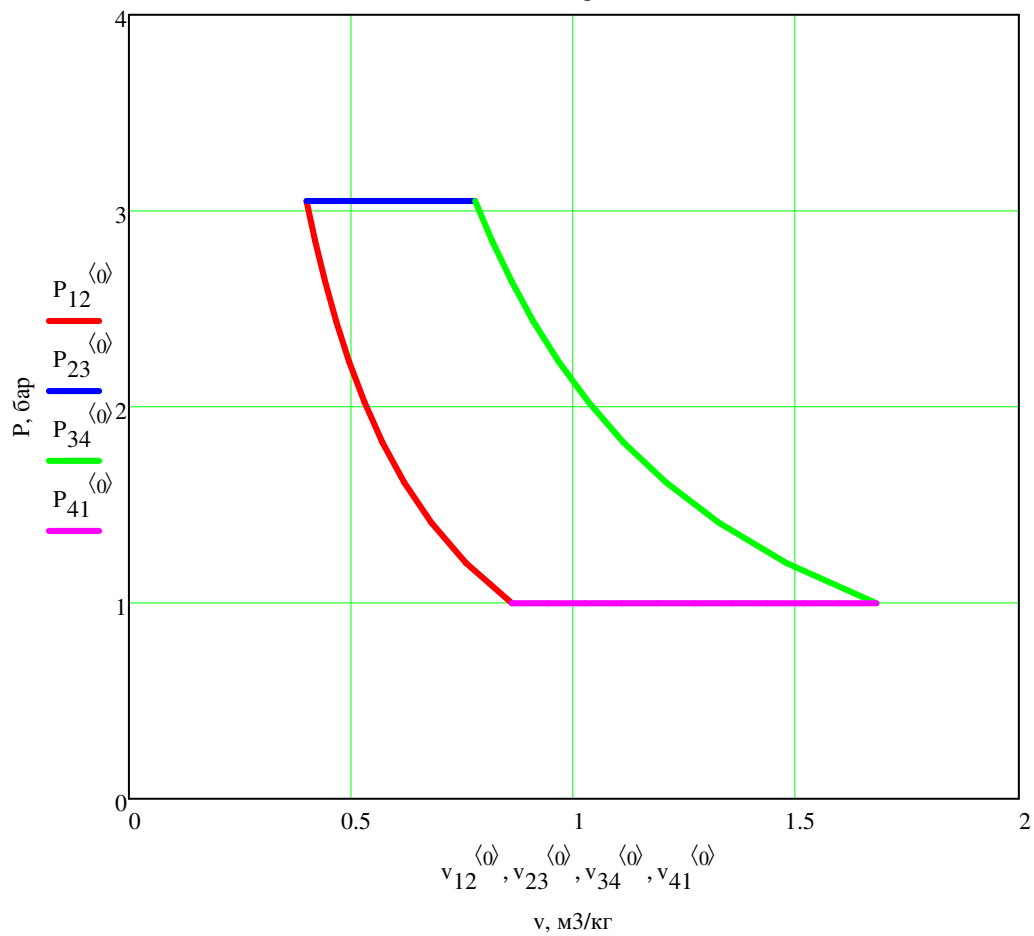
$$T_{41} := \frac{P_{41} \cdot 10^5}{R \cdot v_{41}^{-1}} =$$

	0
0	565.854
1	538.268
2	510.683
3	483.098
4	455.512
5	427.927
6	400.341
7	372.756
8	345.171
9	317.585
10	290

$$\Delta S_{41} := s_4 + C_p \cdot \ln\left(\frac{T_{41}}{T_4}\right) - R \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{P_{41}}{P_4}\right) =$$

	0
0	0.7579
1	0.7059
2	0.6512
3	0.5935
4	0.5323
5	0.4674
6	0.3981
7	0.3238
8	0.2439
9	0.1573
10	0.0628

P-v диаграмма



T-S диаграмма

