

Исходные параметры

$$\begin{aligned} \gamma_1 &:= 1.3 & \gamma_2 &:= k & V_1 &:= 0.75 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} & t_1 &:= 17 & \frac{V_1}{V_2} &:= 5 & q_{23} &:= 99 \\ k &:= 1.4 & R_{\text{см}} &:= 287 & C_p &:= 1000 \end{aligned}$$

Из показателя адиабаты определим C_v

$$C_v := \frac{C_p}{k} = 714.2857$$

1. Определяем параметры газовой смеси (P,V,T) во всех точках

Определяем параметры газовой смеси (P,V,T) в точке 1

Процесс 1-2 политропный с показателем политропы

Определяем объём V_1 из уравнения состояния $PV=RT$

$$T_1 := t_1 + 273 = 290$$

$$P_1 := \frac{R_{\text{см}} \cdot T_1}{V_1} = 1.1097 \times 10^5 \text{ Па}$$

Воспользуемся формулами соотношения для политропных процессов

$$\frac{P_2}{P_1} := \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma \quad \frac{T_2}{T_1} := \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \quad \frac{T_2}{T_1} := \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$V_2 := \frac{V_1}{5} = 0.15 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \quad P_2 := P_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma_1} = 8.9925 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$T_2 := T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma_1-1}{\gamma_1}} = 469.9904 \text{ К}$$

В точке 3 процесс изохорный, следовательно $V_3 := V_2 = 0.15 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$

Определяем объём V_1 из уравнения состояния $PV=RT$

$$T_3 := T_2 + \frac{q_{23} \cdot 10^3}{C_v} = 608.5904$$

$$P_3 := \frac{R_{\text{см}} \cdot T_3}{V_3} = 1.1644 \times 10^6 \text{ Па}$$

Процесс 3-4 адиабатический с показателем адиабаты $\gamma_2 := k = 1.4$

$$P_4 := P_1 = 1.1097 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$T_4 := T_3 \cdot \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\gamma_2-1}{\gamma_2}} = 310.914$$

$$V4 := \frac{V3}{\left(\frac{P4}{P3}\right)^{\frac{1}{\gamma^2}}} = 0.8041 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

2. Рассчитываем удельные значения L, количества теплоты q, изменения внутренней энергии ΔU, энтальпии Δh и коэффициента распределения теплоты ψ

Процесс 1-2 политропный с показателем политропы

$$C_v := 0.7142857$$

$$l_{12} := \frac{\left[\frac{1}{\gamma_1 - 1} \cdot (P1 \cdot V1 - P2 \cdot V2) \right]}{10^3} = -172.1908 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$C_p := 1$$

$$\Delta U_{12} := C_v \cdot (T2 - T1) = 128.5646 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$q_{12} := \Delta U_{12} + l_{12} = -43.6263 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta h_{12} := C_p \cdot (T2 - T1) = 179.9904 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta S_{12} := C_v \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 - 1} \cdot \ln\left(\frac{T2}{T1}\right) = -0.115 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Psi_{12} := \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1 - k} = -3$$

Примечание

деление на 10^3 сделано специально, чтобы перевести джоули в килоджоули

Процесс 2-3 изохорный

$$l_{23} := \frac{[P2 \cdot (V3 - V2)]}{10^3} = 0 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta U_{23} := C_v \cdot (T3 - T2) = 99 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$q_{23} := \Delta U_{23} + l_{23} = 99 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta h_{23} := C_p \cdot (T3 - T2) = 138.6 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta S_{23} := C_p \cdot \ln\left(\frac{T3}{T2}\right) = 0.2584 \quad \Psi_{23} := \frac{\Delta U_{23}}{q_{23}} = 1$$

Процесс 3-4 адиабатический с показателем адиабаты $\gamma_2 := k$

$$l_{34} := \frac{\left[\frac{1}{\gamma^2 - 1} \cdot (P_3 \cdot V_3 - P_4 \cdot V_4) \right]}{10^3} = 213.5829 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta U_{34} := C_v \cdot (T_4 - T_3) = -212.626 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$q_{34} := 0 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad l_{34} := -\Delta U_{34} = 212.626$$

$$\Delta h_{34} := C_p \cdot (T_4 - T_3) = -297.676 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta S_{34} := C_v \cdot \frac{\gamma^2 - k}{\gamma^2 - 1} \cdot \ln\left(\frac{T_4}{T_3}\right) = 0 \quad \Psi_{12} := \frac{\Delta U_{34}}{q_{34}} = 0$$

Процесс 4-1 изохорный

$$l_{41} := \frac{[P_4 \cdot (V_1 - V_4)]}{10^3} = -6.0023 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta U_{41} := C_v \cdot (T_1 - T_4) = -14.9385 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$q_{41} := \Delta U_{41} + l_{41} = -20.9408 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta h_{41} := C_p \cdot (T_1 - T_4) = -20.914 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta S_{41} := C_p \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_4}\right) = -0.0696 \quad \Psi_{23} := \frac{\Delta U_{41}}{q_{41}} = 0.7134$$

4. Определяем количество подведённой (q_1) и отведённой (q_2) теплоты, а также алгебраические суммы L , количества теплоты q , изменения внутренней энергии ΔU , энтальпии Δh .

$$l_{\text{sum}} := l_{12} + l_{23} + l_{34} + l_{41} = 34.4329$$

$$q_{\text{sum}} := q_{12} + q_{23} + q_{34} + q_{41} = 34.4329$$

$$\Delta U_{\text{sum}} := \Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \Delta U_{34} + \Delta U_{41} = 1.7764 \times 10^{-15} = 0$$

$$\Delta h_{\text{sum}} := \Delta h_{12} + \Delta h_{23} + \Delta h_{34} + \Delta h_{41} = 0 = 0$$

$$\Delta S_{\text{sum}} := \Delta S_{12} + \Delta S_{23} + \Delta S_{34} + \Delta S_{41} = 0.0738 = 0 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$q_1 := q_{12} + q_{23} = 55.3737 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$q_2 := q_{41} = -20.9408$$