

2.122. У тепловой машины, работающей по циклу Карно, температура нагревателя в $n=1,60$ раза больше температуры холодильника. За один цикл машина производит работу $A=12,0$ кДж. Какая работа за цикл затрачивается на изотермическое сжатие рабочего вещества?

2.122:

$$T_1 = 1,6 T_2$$

$$A = 12 \text{ кДж} = 12 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$A_{34} = ?$

(в задаче нужно учитывать сжатие)

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{1,6 T_2} = 1 - \frac{10}{16} = \frac{3}{8} = 0,375 = 37,5 \cdot 10^{-3}$$

(эта формула используется только для цикла Карно)

$$\eta = \frac{A_{\text{цикл}}}{Q_1}, \text{ то } Q_1 = \frac{A_{\text{цикл}}}{\eta} = \frac{12 \cdot 10^3}{0,375} = 32 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

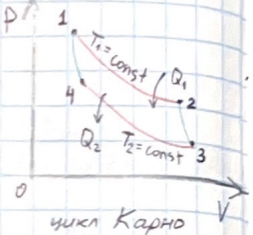
(эта формула используется для любого цикла, для любой тепловой машины)

$$Q_2 = Q_1 - A_{\text{цикл}} = 32 \cdot 10^3 - 12 \cdot 10^3 = 20 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

3-4 (изотерма): $T_2 = \text{const}$

$$Q_2 = \Delta U_{34} + A_{34} = A_{34} = 20 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

0 (т.к. $T_2 = \text{const}$)



2.124. Водород совершает цикл Карно. Найти к. п. д. цикла, если при адиабатическом расширении:
а) объем газа увеличивается в $n=2,0$ раза;
б) давление уменьшается в $n=2,0$ раза.

2.124:

H_2 , то $i=5$

а) $V_3 = 2 V_2$

б) $p_2 = 2 p_3$

$\eta = ?$

$$\eta = \frac{T_2 - T_3}{T_2} = 1 - \frac{T_3}{T_2} \text{ (цифры означают номера позиций)}$$

2-3 (адиабата): а) $TV^{\gamma-1} = \text{const}$

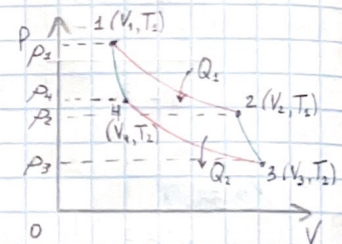
$$T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_2}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{2 V_2}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 2^{\gamma-1} = 2^{1,4} = 2^{0,4}$$

Учитывая график: $\eta = 1 - \frac{T_3}{T_2} = 1 - 2^{-0,4} \approx 0,24$

б) $p_2^{\gamma-1} T_2^{\gamma} = p_3^{\gamma-1} T_3^{\gamma}$

$$\left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\gamma} = \left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{2 p_3}{p_3}\right)^{\gamma-1} = 2^{\gamma-1} = 2^{0,4}, \text{ то } \frac{T_2}{T_3} = \sqrt[1,4]{2^{0,4}}, \text{ то } \eta = 1 - \frac{T_3}{T_2} = 1 - \sqrt[1,4]{2^{-0,4}} \approx 0,18$$



2.128. Найти к. п. д. цикла, состоящего из двух изохор и двух адиабат, если в пределах цикла объем идеального газа изменяется в $n=10$ раз. Рабочим веществом является азот.

2.128:

$V_2 = 10 V_1$

N_2 , то $i=5$

$\eta = ?$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \gamma = \frac{\gamma}{5} = 1,4$$

1-2 (адиабата): $TV^{\gamma-1} = \text{const}$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}, \text{ то } T_1 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} T_2 = 10^{0,4} T_2$$

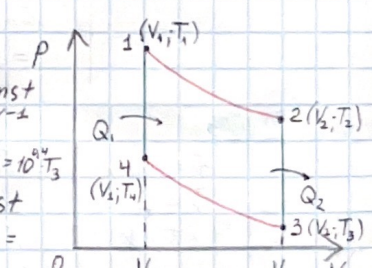
$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} T_1 = 10^{-0,4} T_1$$

4-1 (изохора): $V_1 = \text{const}$

$$Q_1 = \Delta U_{41} + A_{41} = \Delta U_{41} = \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_4)$$

$$Q_2 = \Delta U_{23} + A_{23} = \Delta U_{23} = \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_3)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_3)}{\frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_4)} = 1 - \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_4} = 1 - \frac{10^{-0,4} T_1 - 10^{0,4} T_3}{T_1 - T_4} \approx 0,6$$



2.129. Найти к. п. д. цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если в пределах цикла давление изменяется в n раз. Рабочее вещество — идеальный газ с показателем адиабаты γ .

2.129:

γ
 $p_2 = n \cdot p_1$
 $\eta - ?$

$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
 $A = \int p dV \Big|_{1 \rightarrow 2} A = \int \gamma R dT = \gamma R \Delta T$
 $p dV = \gamma R dT$
 1-2 (изобара): $p_2 = \text{const}$
 $Q_1 = \Delta U_{12} + A_{12} = \gamma R (T_2 - T_1) + \gamma R (T_2 - T_1) = 2\gamma R (T_2 - T_1)$
 3-4 (изобара): $p_1 = \text{const}$
 $Q_2 = \Delta U_{34} + A_{34} = \gamma R (T_3 - T_4) + \gamma R (T_3 - T_4) = 0$
 2-3 (адиабата): $p^{1/\gamma} T^\gamma = \text{const}$
 $p_2^{1/\gamma} T_2^\gamma = p_1^{1/\gamma} T_3^\gamma$
 $T_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1} T_3 = n^{\gamma-1} T_3$
 $T_2 = n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_3$
 4-1 (адиабата): $p^{1/\gamma} T^\gamma = \text{const}$
 $p_1^{1/\gamma} T_4^\gamma = p_2^{1/\gamma} T_1^\gamma$
 $T_4 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1} T_1 = n^{\gamma-1} T_1$
 $T_4 = n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_1$
 $\eta = 1 - \frac{\gamma R (T_3 - T_4)}{\gamma R (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{T_3 - T_4}{T_2 - T_1} = 1 - \frac{T_3 - n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_1}{n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_3 - T_1} = 1 - \frac{1 - n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1} = 1 - \frac{1}{n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$

2.131. Идеальный газ совершает цикл, состоящий из:

а) изохоры, адиабаты и изотермы;

б) изобары, адиабаты и изотермы,

причем изотермический процесс происходит при минимальной температуре цикла. Найти к. п. д. каждого цикла, если температура T в его пределах изменяется в n раз.

2.131:

миним. темп.
 $T_2 = n T_1$
 $\eta - ?$

а) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
 1-2 (изохора): $V_2 = \text{const}$
 $Q_1 = \Delta U_{12} + A_{12} = \Delta U_{12} = \frac{\gamma}{\gamma-1} R V_2 (T_2 - T_1)$
 $\frac{R V_2 (T_2 - T_1)}{\gamma-1} = \frac{\gamma}{\gamma-1} R V_2 (T_2 - T_1)$
 $T_2 = n T_1$
 2-3 (адиабата): $T V^{\gamma-1} = \text{const}$
 $T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1}$
 $\frac{V_3}{V_2} = n^{\frac{1}{\gamma-1}}$
 3-1 (изотерма): $T_3 = \text{const}$
 $Q_2 = \Delta U_{31} + A_{31} = A_{31} = \int_{31} p dV = \int_{31} \frac{R T_3}{V} dV = R T_3 \ln \frac{V_1}{V_3}$
 $\eta = 1 - \frac{R T_3 \ln \frac{V_1}{V_3}}{\frac{\gamma}{\gamma-1} R V_2 (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{\ln n}{n^{\frac{1}{\gamma-1}} - 1} = 1 - \frac{\ln n}{n^{\frac{1}{\gamma-1}}}$

б) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
 1-2 (изобара): $p_2 = \text{const}$
 $Q_1 = \Delta U_{12} + A_{12} = \gamma R (T_2 - T_1) + \gamma R (T_2 - T_1) = 2\gamma R (T_2 - T_1)$
 $T_2 = n T_1$
 2-3 (адиабата): $p^{1/\gamma} T^\gamma = \text{const}$
 $p_2^{1/\gamma} T_2^\gamma = p_3^{1/\gamma} T_3^\gamma$
 $\frac{p_3}{p_2} = \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\gamma} = n^\gamma$
 3-1 (изотерма): $T_3 = \text{const}$
 $Q_2 = \Delta U_{31} + A_{31} = A_{31} = \int_{31} p dV = \int_{31} \frac{R T_3}{V} dV = R T_3 \ln \frac{V_1}{V_3}$
 $\eta = 1 - \frac{R T_3 \ln \frac{V_1}{V_3}}{2\gamma R (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{\ln n}{2\gamma (n - 1)} = 1 - \frac{\ln n}{2\gamma (n - 1)}$

2.134. Идеальный газ с показателем адиабаты γ совершает прямой цикл, состоящий из адиабаты, изобары и изохоры. Найти к. п. д. цикла, если при адиабатическом процессе объем идеального газа:

а) увеличивается в n раз; б) уменьшается в n раз.

2.134:

а) $V_3 = n \cdot V_1$
 б) $V_2 = n \cdot V_3$
 $\eta - ?$

а) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
 1-2 (адиабата): $T V^{\gamma-1} = \text{const}$
 $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$
 $T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} T_1 = n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_1$
 2-3 (изобара): $p_2 = \text{const}$
 $Q_1 = \Delta U_{23} + A_{23} = \gamma R (T_3 - T_2) + \gamma R (T_3 - T_2) = 2\gamma R (T_3 - T_2)$
 3-1 (изохора): $V_1 = \text{const}$
 $Q_2 = \Delta U_{31} + A_{31} = \Delta U_{31} = \frac{\gamma}{\gamma-1} R V_1 (T_1 - T_3)$
 $\eta = 1 - \frac{\gamma R (T_3 - T_1)}{2\gamma R (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_3 - T_1}{2(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1 - n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{2(n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)} = 1 - \frac{1}{2n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$

б) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
 1-2 (адиабата): $T V^{\gamma-1} = \text{const}$
 $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$
 $T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} T_1 = n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_1$
 2-3 (изобара): $p_2 = \text{const}$
 $Q_1 = \Delta U_{23} + A_{23} = \gamma R (T_3 - T_2) + \gamma R (T_3 - T_2) = 2\gamma R (T_3 - T_2)$
 3-1 (изохора): $V_1 = \text{const}$
 $Q_2 = \Delta U_{31} + A_{31} = \Delta U_{31} = \frac{\gamma}{\gamma-1} R V_1 (T_1 - T_3)$
 $\eta = 1 - \frac{\gamma R (T_3 - T_1)}{2\gamma R (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_3 - T_1}{2(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1 - n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{2(n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)} = 1 - \frac{1}{2n^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$