

9.12. Цикл Карно

9.12.1. Определите КПД идеальной тепловой машины, если температуры нагревателя и холодильника $t_1 = 200^\circ\text{C}$ и $t_2 = 17^\circ\text{C}$ соответственно. Во сколько раз надо увеличить температуру нагревателя, чтобы КПД цикла увеличить в $n = 2$ раза?

9.12.2. Определите КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, если температура холодильника в $n = 3$ раза меньше температуры нагревателя.

9.12.3. Тепловой двигатель использует нагреватель при температуре $t_1 = 610^\circ\text{C}$ и имеет КПД $\eta_1 = 27\%$. Какой должна быть температура нагревания, чтобы КПД повысился до $\eta_2 = 35\%$?

9.12.4. Найдите работу за один цикл тепловой машины Карно, если работа на участке изотермического расширения равна $A_1 = 10$ Дж, а работа на участке изотермического сжатия $A_2 = 3$ Дж.

9.12.5. Найдите работу на участке изотермического расширения рабочего тела теплового двигателя, работающего по циклу Карно, если коэффициент полезного действия равен $\eta = 80\%$, а количество теплоты, отдаваемое за цикл, $Q = 2$ Дж.

9.12.6. Идеальная тепловая машина совершает за один цикл работу $A = 73,5$ кДж. Температура нагревателя $t_1 = 100^\circ\text{C}$, температура холодильника $t_2 = 0^\circ\text{C}$. Найдите КПД цикла и количество теплоты, отдаваемое за один цикл холодильнику.

• **9.12.7.** Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 2,94$ кДж и отдает за один цикл холодильнику количество теплоты $Q_2 = 13,4$ кДж. Найдите КПД цикла.

9.12.8. Идеальная тепловая машина получает за один цикл от нагревателя $Q_1 = 1$ кДж теплоты. Температура нагревателя $T_1 = 600$ К, температура холодильника $T_2 = 300$ К. Какую работу совершает машина за один цикл? Какое количество теплоты отдается за цикл холодильнику?

9.12.9. Тепловая машина, которая работает по циклу Карно, имеет полезную мощность $N = 4$ кВт и работает в интервале температур от $T_1 = 400$ К до $T_2 = 300$ К. Определите энергию, получаемую машиной от нагревателя, а также энергию, отдаваемую холодильнику за $\tau = 1$ ч работы.

9.12.10. Рабочее тело идеальной тепловой машины отдает холодильнику $n = 1/4$ часть теплоты, полученной от нагревателя. Определите температуру нагревателя, если температура холодильника $T_2 = 100$ К.

9.12.11. Паровая машина мощностью $N = 14,7$ кВт потребляет за $\tau = 1$ ч работы $m = 8,1$ кг каменного угля. Температура котла $t_1 = 200^\circ\text{C}$, холодильника $t_2 = 58^\circ\text{C}$. Найдите КПД этой машины и сравните его с КПД идеальной тепловой машины.

9.12.12. Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, отнимает у охлаждаемого тела с температурой $t_2 = -10^\circ\text{C}$ количество теплоты $Q_2 = 28$ кДж и передает телу с температурой $t_1 = 17^\circ\text{C}$. Определите КПД цикла η , количество теплоты Q_1 , переданное за цикл тепловому телу, и холодильный коэффициент ϵ машины.

9.12.13. Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 37$ кДж. При этом она отбирает теплоту у тела с температурой $t_2 = -10^\circ\text{C}$ и передает ее телу с температурой $t_1 = 17^\circ\text{C}$. Найдите: КПД цикла, количество теплоты Q_2 , отнятое у холодного тела за один цикл, и количество теплоты Q_1 , переданное более горячему телу за один цикл, а также холодильный коэффициент ϵ машины.

9.12.14. В холодильнике за сутки из воды массой $m = 2$ кг, взятой при температуре $T_1 = 293$ К, образуется лед при температуре $T_2 = 271$ К. Насколько нагреется воздух в комнате объемом $V = 30$ м³ за время $\tau = 4$ ч работы холодильника? Удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме $c_V = 700$ Дж/(кг·К). Считать холодильник идеальной тепловой машиной.

• **9.12.15.** Помещение отапливают холодильной машиной, работающей по обратному циклу Карно. Во сколько раз количество теплоты Q , получаемое помещением от сгорания дров в печке, меньше количества теплоты Q' , переданного помещению холодильной машиной, которая приводится в действие тепловой машиной, потребляющей ту же массу дров? Тепловой двигатель работает в интервале температур от $t_1 = 100^\circ\text{C}$ до $t_2 = 0^\circ\text{C}$. В помещении требуется поддерживать температуру $t'_1 = 16^\circ\text{C}$. Температура окружающего воздуха $t'_2 = -10^\circ\text{C}$.

• **9.12.16.** Циклический процесс $1-2-3-4-5-6-7-1$ (рис. 9.12.1) состоит из трех изотерм $1-2$, $3-4$, $5-6-7$, соответствующих температурам $t_1 = 227^\circ\text{C}$, $t_2 = 127^\circ\text{C}$, $t_3 = 27^\circ\text{C}$, и трех адиабат $2-3$, $4-5$, $7-1$. Определите КПД цикла $1-2-3-4-5-6-7-1$, если работа, совершаемая рабочим телом в цикле $1-2-3-6-7-1$, в 2 раза больше работы, совершаемой в цикле $3-4-5-6-3$.

9.12.17. Циклический процесс $1-2-3-4-5-6-7-1$ (рис. 9.12.2) состоит из трех изотерм $1-2-3$, $4-5$, $6-7$ и трех адиабат $3-4$, $5-6$, $7-1$. Определите КПД цикла $1-2-3-4-5-6-7-1$, если КПД цикла $1-2-6-7-1$ равен $\eta_1 = 40\%$, КПД цикла $2-3-4-5-6-2$ равен $\eta_2 = 60\%$ и работа, совершаемая над рабочим телом при изотермическом сжатии $6-7$, в 3 раза больше работы, совершаемой над рабочим телом при изотермическом сжатии $4-5$.

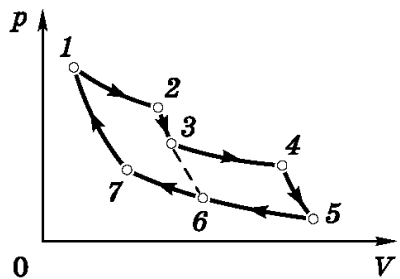


Рис. 9.12.1

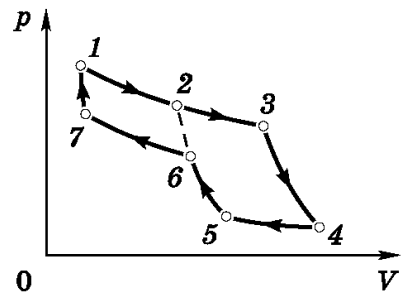


Рис. 9.12.2

Ответы

9.12.1. $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% = 38,7\%$;

$\frac{T'_1}{T_1} = \frac{T_2}{2T_2 - T_1} = 2,7$.

9.12.2. $\eta = \frac{n-1}{n} \approx 0,66$; $\eta = 66\%$.

9.12.3. $T'_1 = T_1 \frac{1-\eta_1}{1-\eta_2} = 991,7 \text{ К}$.

9.12.4. $A = A_1 - A_2 = 7 \text{ Дж}$.

9.12.5. $A = \frac{Q}{1-\eta} \approx 10 \text{ Дж}$.

9.12.6. $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% \approx 27\%$;

$Q_2 = \frac{AT_2}{T_1 - T_2} \approx 200 \text{ кДж}$.

9.12.8. $A = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = 500 \text{ Дж}$;

$Q_2 = Q_1 \frac{T_2}{T_1} = 500 \text{ Дж}$.

9.12.9. $Q_1 = \frac{N\tau T_1}{T_1 - T_2} = 57,6 \text{ МДж}$;

$Q_2 = \frac{N\tau T_2}{T_1 - T_2} = 43,2 \text{ МДж}$.

9.12.10. $T_1 = \frac{T_2}{n} = 400 \text{ К}$.

9.12.11. $\eta = \frac{N\tau}{qm} \cdot 100\% \approx 22\%$,

$\eta_{\text{вкл}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% = 30\%$.

9.12.12. $\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 + 273} \cdot 100\% = 9,9\%$;

$Q_1 = 31,1 \text{ кДж}$; $\varepsilon = 9$.

9.12.13. $\eta = 9,9\%$; $Q_1 = 397,8 \text{ кДж}$;

$Q_2 = 360,8 \text{ кДж}$; $\varepsilon = 9,7$.

9.12.14. $\Delta T = 6 \text{ К}$.

9.12.17. $\eta = \frac{3\eta_1 + \eta_2 - 4\eta_1\eta_2}{400 - 3\eta_2 - \eta_1} = 15,6\%$.