

9.11. Тепловые двигатели

9.11.1. В тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа $A = 300$ Дж. Определите КПД машины.

9.11.2. Тепловая машина работает по замкнутому циклу. Подведенное за цикл количество теплоты $Q_1 = 0,1$ МДж, отданное холодильнику — $Q_2 = 80$ кДж. Найдите полезную работу за цикл и КПД тепловой машины.

9.11.3. Полезная мощность теплового двигателя $N = 20$ кВт. Какое количество теплоты получит двигатель за время $t = 30$ мин, если КПД двигателя $\eta = 18\%$?

9.11.4. КПД автомобиля $\eta = 22\%$. Какое количество теплоты выделяется в камере сгорания двигателя автомобиля каждую секунду, если двигатель автомобиля развивает мощность $N = 22,5$ кВт?

9.11.5. Тепловой двигатель за один цикл совершает работу $A = 160$ Дж. Определите количество теплоты, отданное за цикл холодильнику, если КПД двигателя $\eta = 18\%$.

• **9.11.6.** Идеальный газ совершает цикл $1-2-3-1$, показанный на рисунке 9.11.1. Найдите КПД тепловой машины, работающей по данному циклу, если рабочее вещество — идеальный одноатомный газ.

• **9.11.7.** Тепловая машина совершает циклический процесс, состоящий из двух изохор и двух изобар. Отношение давлений на изобарах $\alpha = 2$, а отношение объемов на изохорах $\beta = 3$. Найдите КПД машины. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

9.11.8. Найдите КПД цикла, если известно, что максимальная и минимальная температуры в цикле отличаются в 3 раза (рис. 9.11.2). Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

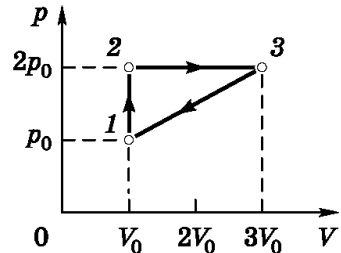


Рис. 9.11.1

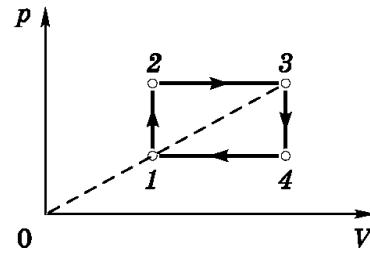


Рис. 9.11.2

9.11.9. Докажите, что КПД цикла, показанного на рисунке 9.11.2, не превышает 40%.

9.11.10. Найдите отношение КПД циклов $1-2-3-4-1$ и $1-5-6-7-1$, представленных на p - V -диаграмме (рис. 9.11.3). Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

9.11.11. Найдите КПД тепловой машины, рабочий цикл которой показан на рисунке 9.11.4. Рабочее вещество — идеальный одноатомный газ.

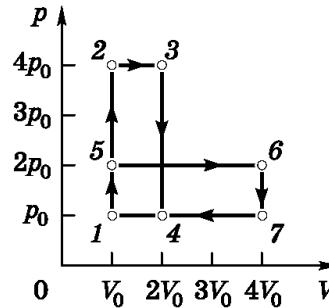


Рис. 9.11.3

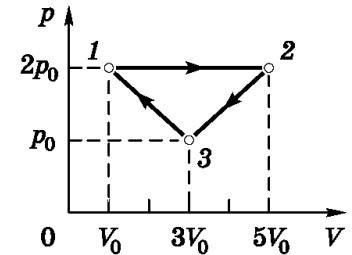


Рис. 9.11.4

• **9.11.12.** С одним моле идеального одноатомного газа совершают цикл $1-2-3-1$, представленный на рисунке 9.11.5. В процессе $1-2$ газу сообщили количество теплоты $Q_{1-2} = 30$ кДж, и его температура увеличилась в $n = 4$ раза. Найдите работу газа за цикл и КПД цикла, если температуры в состояниях 2 и 3 одинаковы.

• **9.11.13.** КПД цикла $1-2-4-1$ (рис. 9.11.6) $\eta_1 = 37,5\%$. Найдите отношение давлений на изобарах $2-3$ и $4-1$ и КПД цикла $2-3-4-2$, если температура в состоянии 4 больше температуры в состоянии 2. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

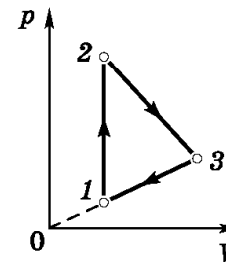


Рис. 9.11.5

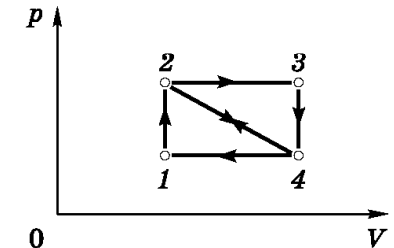


Рис. 9.11.6

• **9.11.14.** КПД тепловой машины, работающей по циклу $1-2-3-1$ (рис. 9.11.7) равен η_1 . Найдите КПД тепловой машины, работающей по циклу $1-3-4-1$. Рабочее вещество в машинах одинаковое.

9.11.15. На рисунке 9.11.8 показана диаграмма рабочего цикла тепловой машины. Рабочее вещество — идеальный одноатомный газ. Найдите КПД тепловой машины.

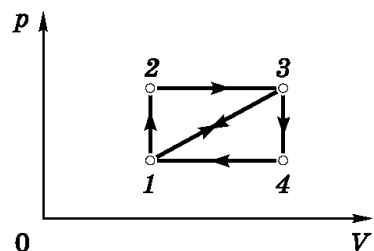


Рис. 9.11.7

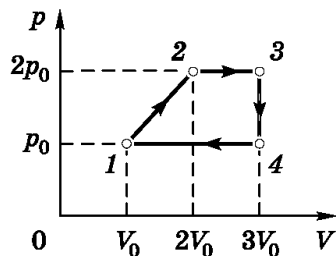


Рис. 9.11.8

9.11.16. На рисунке 9.11.9 на p - V -диаграмме представлены графики циклов $1-2-3-1$ и $1-4-2-1$, проводимых с идеальным одноатомным газом. Участок $1-2$ соответствует изобарному, а участки $1-3$ и $4-2$ — изохорным процессам. Отрезки $1-4$ и $3-2$ принадлежат прямым, проходящим через начало координат. КПД какого из этих циклов больше? Ответ обоснуйте.

9.11.17. КПД цикла $1-2-3-4-1$ (рис. 9.11.10) равен $\eta = 1/9$. Определите давление газа в состоянии 4, если давление газа в состоянии 2 равно $p = 4$ МПа. Известно, что давление газа в состояниях 1 и 3 одинаковы, участки $4-1$ и $2-3$ соответствуют изохорным процессам, а участки $1-2$ и $3-4$ принадлежат прямым, проходящим через начало координат. Газ одноатомный. Количество газа $\nu = 1$ моль.

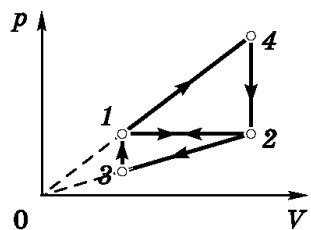


Рис. 9.11.9

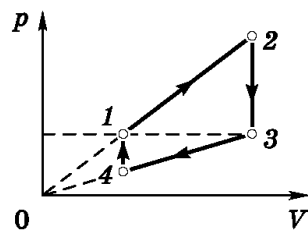


Рис. 9.11.10

9.11.18. Найдите КПД цикла $1-2-3-4-1$, представленного на рисунке 9.11.11. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

9.11.19. Изобразите приведенный на рисунке 9.11.12 циклический процесс на p - V -диаграмме. Найдите КПД цикла. Рабочее тело — идеальный одноатомный газ.

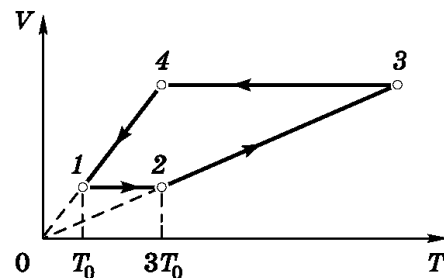


Рис. 9.11.11

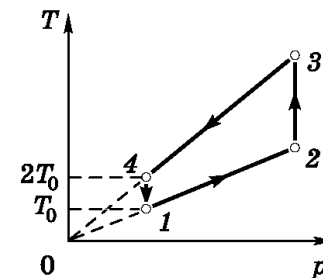


Рис. 9.11.12

9.11.20. На p - U -диаграмме (U — внутренняя энергия газа) представлены циклические процессы $1-2-3-1$ и $2-4-3-2$, проводимые с идеальным одноатомным газом (рис. 9.11.13). Внутренняя энергия в состояниях 1 и 4 отличается в $n = 9$ раз. Найдите КПД цикла $1-2-3-1$, если КПД цикла $2-4-3-2$ равен η_2 .

9.11.21. Один моль идеального одноатомного газа совершает циклический процесс, состоящий из изобарного расширения, изохорного охлаждения и изотермического сжатия. КПД цикла $\eta = 25\%$. Определите количество теплоты, отданное газом при изотермическом сжатии, если работа газа за цикл $A = 1000$ Дж.

9.11.22. Цикл, совершаемый одноатомным идеальным газом в количестве $\nu = 1$ кмоль, состоит из изотермы, изобары и изохоры. Изотермический процесс происходит при максимальной температуре $T = 400$ К. Известно, что в пределах цикла объем газа изменяется в 2 раза, т. е. $\alpha = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = 2$. Найдите работу газа за цикл и КПД цикла.

9.11.23. КПД тепловой машины, работающей по циклу (рис. 9.11.14), состоящему из изотермы $1-2$, изохоры $2-3$ и адиабатного процесса $3-1$, равен $\eta = 20\%$, а разность максимальной и минимальной температур газа в цикле $\Delta T = 200$ К. Найдите работу, совершенную в изотермическом процессе одноатомным газом.

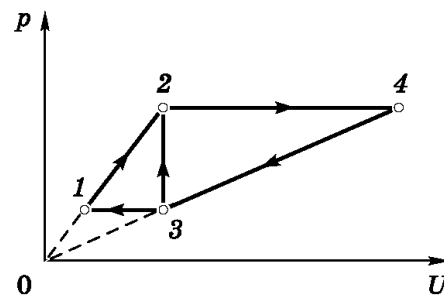


Рис. 9.11.13

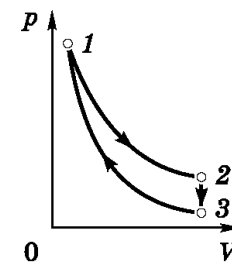


Рис. 9.11.14

Ответы

$$9.11.1. \eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\% = 30\%.$$

$$9.11.2. A = Q_1 - Q_2 = 20 \text{ кДж};$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% = 20\%.$$

$$9.11.3. Q = \frac{N}{\eta} t = 2 \cdot 10^8 \text{ Дж}.$$

$$9.11.4. Q = \frac{N}{\eta} t = 102 \text{ кДж}.$$

$$9.11.5. Q = A \frac{1-\eta}{\eta} = 728,9 \text{ Дж}.$$

$$9.11.8. \eta = 9,3\%.$$

$$9.11.10. \frac{\eta_{1-2-3-4-1}}{\eta_{1-5-6-7-1}} = \frac{29}{33}.$$

$$9.11.11. \eta = 10\%.$$

$$9.11.15. \eta = \frac{1}{7}.$$

$$9.11.16. \eta_{1-2-3-1} < \eta_{1-4-2-1}.$$

$$9.11.17. p_4 = 1 \text{ МПа}.$$

$$9.11.18. \eta = \frac{2}{9}; \eta \approx 22,2\%.$$

$$9.11.19. \eta = \frac{2}{13}; \eta = 15,4\%.$$

$$9.11.20. \eta_1 = \frac{4-15\eta_2}{9-15\eta_2}.$$

$$9.11.21. Q = A \frac{5\eta-2}{5\eta} = -600 \text{ Дж}.$$

$$9.11.22. A = \nu RT \left(\ln \alpha - \frac{\alpha-1}{4} \right) = 176 \text{ кДж}; \eta = 30,5\%.$$