

## Холодильная машина

$$\eta_{\text{хол}} = \frac{Q_{\text{хол}}}{A} = \frac{|Q_{\text{хол}}|}{Q_{\text{наг}} - |Q_{\text{хол}}|} \quad (1)$$

$$\eta_{\text{тепл}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{A} \quad (2)$$

$$\eta_{\text{хол}} = \eta_{\text{тепл}} - 1 \quad (3)$$

## Задачи

**3.25.** Какую максимальную работу можно получить от периодически действующей тепловой машины, нагревателем которой служит  $m_1 = 1$  кг воды при начальной температуре  $T_1 = 373$  К, а холодильником  $m_2 = 1$  кг льда при температуре  $T_2 = 273$  К, к моменту, когда растает весь лед? Чему будет равна температура воды в этот момент? Удельная теплота плавления льда  $q = 80$  ккал/кг. Зависимостью теплоемкости воды от температуры пренебречь.

**Задача 1** (3.25).

**Решение.**

$$T_{\text{н}} := T_{\text{в}} \quad T_{\text{х}} := T_{\text{л}}$$

Температура холодильника  $T_{\text{х}}$  меняется.

$$\begin{aligned} \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{х}}} &= \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{х}}} \\ Q_{\text{н}} &= cm_1 dT, \quad Q_{\text{х}} = qdm \\ \frac{dT}{T} &= \frac{qdm}{m_1 c T_{\text{х}}} \\ \ln \frac{T_1}{T} &= \frac{-m_2 q}{m_1 c T_2} \end{aligned}$$

$$T = T_1 \exp \frac{-m_2 q}{m_1 c T_2}$$

$$A = Q_{\text{н}} - |Q_{\text{хол}}| = cm_1 |T - T_1| - qm_2$$

**Задача 2** (T2).

**Т-2.** В двух одинаковых изолированных сосудах находится по молю воздуха при  $T_0 = 300$  К. Сосуды используются в качестве тепловых резервуаров для тепловой машины, работающей по обратному циклу. Найти минимальную работу, которую должна затратить машина, чтобы охладить газ в одном из сосудов до  $T_1 = 200$  К. Какова будет конечная температура газа во втором сосуде? Теплоёмкостью сосудов и зависимостью теплоёмкости воздуха от температуры пренебречь.

Ответ:  $A \approx 1$  кДж,  $T_2 = 450$  К.

**Решение.** Индекс «h» обозначает нагреватель, «c» – холодильник. Заметим, что процесс изохорический

$$\begin{aligned} \frac{dQ_h}{dQ_c} &= \frac{dU_h}{dU_c} \\ \frac{T_h}{T_c} &= \frac{dT_h}{-dT_c} \rightarrow \int_{T_0}^{T_2} \frac{dT_h}{T_h} = - \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT_c}{T_c} \\ \ln \frac{T_2}{T_0} &= \ln \frac{T_0}{T_1} \rightarrow T_2 = \boxed{\frac{T_0^2}{T_1}} = 450\text{K} \\ A &= Q_h - |Q_c| = \Delta U_h - |\Delta U_c| \\ \Delta U_h &= C_V |T_2 - T_0| \quad \Delta U_c = C_V |T_1 - T_0| \\ A &= \boxed{\frac{5}{2}R(T_2 - T_0) - \frac{5}{2}R(T_0 - T_1)} = 1038\text{J} \end{aligned}$$

**3.43.** С помощью бензиновой горелки в помещении поддерживается температура  $t_1 = -3^\circ\text{C}$  при температуре на улице  $t_2 = -23^\circ\text{C}$ . Предлагается использовать бензин в движке с КПД  $\eta = 0,4(40\%)$ , а с помощью полученной механической энергии запустить тепловой насос, перекачивающий по холодильному циклу теплоту с улицы в комнату. Какой должна быть в этом случае температура в помещении  $t_x$ ? Движок находится вне помещения; расход бензина в нем такой же, как в горелке.

**Задача 3 (3.43).**

**Решение.**

$$\begin{aligned}P_{transfer} &= \alpha(t_2 - t_1), \quad P_{transfer} = P \\ \dot{Q}_h - |\dot{Q}_c| &= \dot{A} = \eta\alpha(t_2 - t_1) \\ \frac{\dot{Q}_h}{\dot{Q}_c} &= \frac{Q_h}{Q_c} = \frac{t_x}{t_2} \\ \dot{Q}_h &= \alpha(t_x - t_2)\end{aligned}$$