

5. Термодинамические процессы и тепловые машины.

5.1 Принцип работы теплового двигателя и его КПД.

Тепловой машиной называют термодинамическую систему, периодически повторяющую какой-либо круговой процесс и совершающую при этом работу за счет тепла, полученного извне.

Для принципиальной возможности совершать работу за счет внешнего тепла необходим **нагреватель**. За один цикл работы тепловой машины от нагревателя передается **рабочему телу** некоторое количество теплоты Q_1 . (рис.3) Для циклической работы тепловой машины необходим еще **холодильник**, которому рабочее тело должно отдавать некоторое количество тепла Q_2 , которое невозможно превратить в работу.

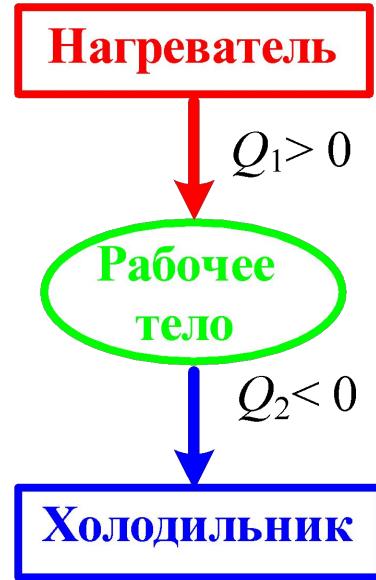


Рис. 3

При сообщении рабочему телу (газу) нагревателем количества теплоты Q_1 его внутренняя энергия увеличивается на величину ΔU_1

Рабочее тело (РТ) совершает за счет части этого тепла работу над внешними телами. Теплоту оно отдает холодильнику. После каждого цикла система возвращается в исходное состояние. Внутренняя энергия РТ должна принять исходное значение, то есть $\Delta U_{\text{раб}} = 0$. На основании I начала термодинамики можно записать:

$$Q_1 - Q_2 = A$$

Для холодильника $Q_2 = \Delta U$, так как холодильник получает от рабочего тела тепло, не совершая при этом механической работы.

По определению коэффициента полезного действия – «отношение полезной работы к затраченной энергии» КПД тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \text{либо} \quad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (1)$$

Из (1) следует, что, КПД тепловой машины принципиально не может быть равен единице.

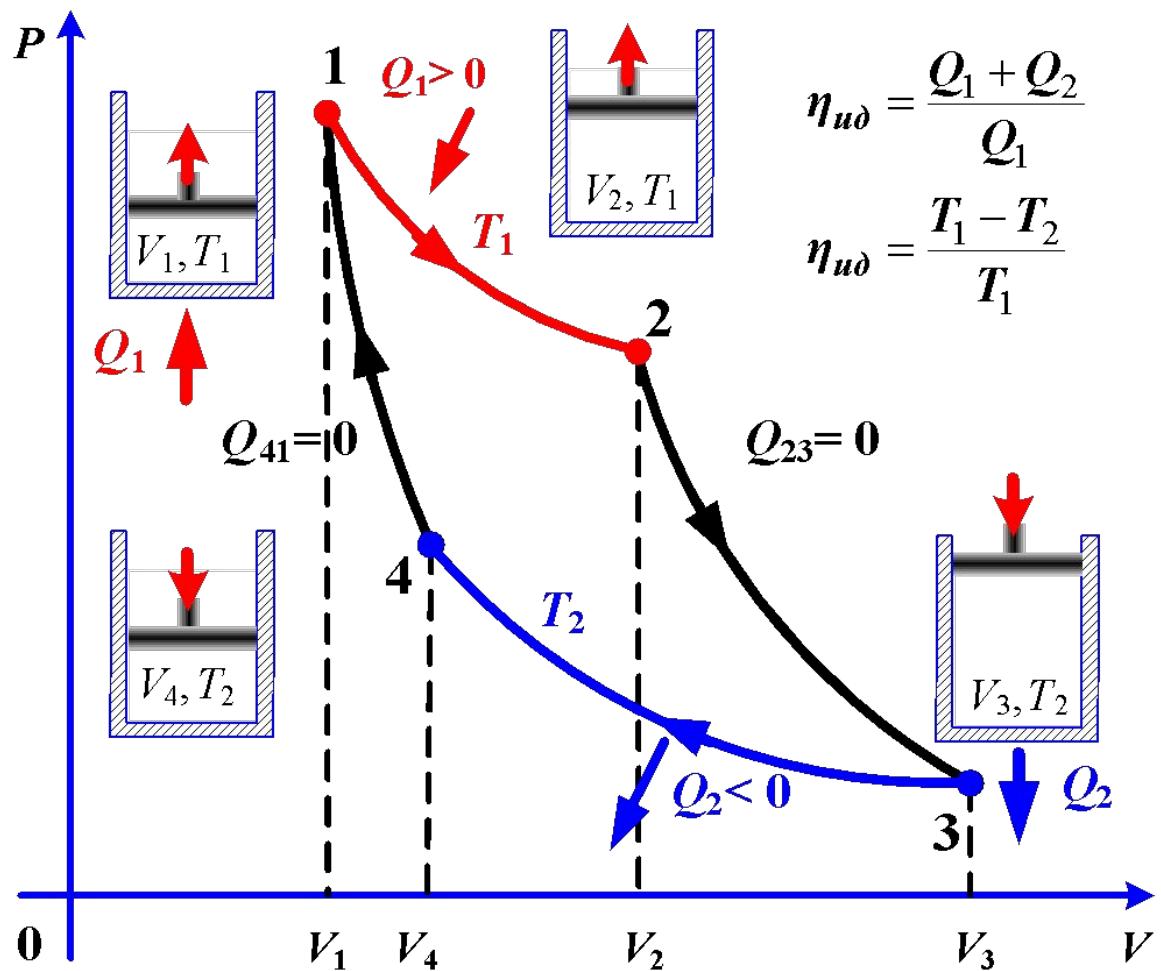
II начало термодинамики в формулировке Томсона:
невозможно построить вечный двигатель «2-го рода», который бы полностью превращал полученное тепло в работу.

5.2 Цикл Карно и его КПД. Теорема Карно

Сади Карно предложил обратимый цикл работы тепловой машины. Он состоял из двух изотермических и двух адиабатических процессов. Теперь его называют циклом Карно.

Имея температуру, равную температуре нагревателя, идеальный газ приводится в тепловой контакт с нагревателем при T_1 . Затем, уменьшая внешнее давление, идеальный газ (рабочее тело) заставляют расширяться по изотерме 1-2 (рис.4). При этом газ забирает тепло от нагревателя Q_1 и производит работу A_1 :

$$A_1 = \frac{m}{\mu} \cdot R T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$



$$\eta_{u\delta} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}$$

$$\eta_{u\delta} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Рис. 4

Для процесса 1-2 на основании I начала термодинамики имеем: $Q_1 = A_1$.

Затем идеальный газ изолируют от нагревателя и заставляют расширяться по адиабате 2-3, с понижением до температуры холодильника T_2 . Поскольку при адиабатическом процессе тепло не поступает к газу, работа совершается за счет убыли его внутренней энергии:

$$A_2 = -\Delta U_2 \quad (3)$$

Далее идеальный газ внешним давлением при температуре T_2 изотермически сжимают до состояния 4 (рис.4). Над газом совершается внешняя работа A_3 , газ передает количество теплоты холодильнику Q_2 , а его внутренняя энергия при этом не изменяется ($\Delta U_3 = 0$). На основании I начала термодинамики

$$-Q_2 = A_3 = \frac{m}{\mu} \cdot RT_2 \cdot \ln \frac{V_4}{V_3}. \quad (4)$$

Из 4 в 1 газ переводится по адиабате. Работа внешней силы идет на приращение его внутренней энергии:

$$-A_4 = \Delta U_4 \quad (5)$$

В результате замкнутого цикла внутренняя энергия идеального газа не изменилась, $\Delta U_2 + \Delta U_4 = 0$. С учетом (3) и (5) это дает: $A_2 + A_4 = 0$, **в адиабатических процессах, газ не совершает полезной работы.**

КПД цикла Карно определяем из (1) с учетом (2) и (4):

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A_1 + A_3}{A_1} = \frac{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} + T_2 \ln \frac{V_4}{V_3}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}. \quad (6)$$

Параметры состояний 2 и 3 связаны соотношением

(7)

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

а параметры состояний 1 и 4 соотношением

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$

(8)

$$V_2 / V_1 = V_3 / V_4$$

Из (7,8) следует, что

Тогда КПД цикла Карно равен

(9)

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

(10)

Сформулируем теорему Карно:

«КПД тепловой машин, работающей по обратимому циклу Карно, не зависит от природы рабочего тела и определяется только температурами нагревателя и холодильника».