

Второй закон термодинамики

1. Два положения 2-го закона термодинамики. Круговые процессы тепловых машин.
2. Термический КПД цикла. Холодильный коэффициент.
3. Прямой цикл Карно.
4. Обратный цикл Карно.

1. Два положения второго закона термодинамики

Различные формы передачи энергии неравноценны. Энергия теплового движения стремиться в большей степени, чем другие виды энергии, сохраниться за счет какой-либо другой энергии. Так, естественные процессы имеют определённую направленность, а именно они протекают в сторону достижения системой равновесного состояния. На практике не обнаружено случаев самопроизвольного перехода теплоты от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой.

Второй закон термодинамики обобщает особенности теплоты как формы передачи энергии. Он выражает закон о существовании энтропии и определяет закономерности её изменения при протекании обратимых и необратимых процессов в изолированных системах.

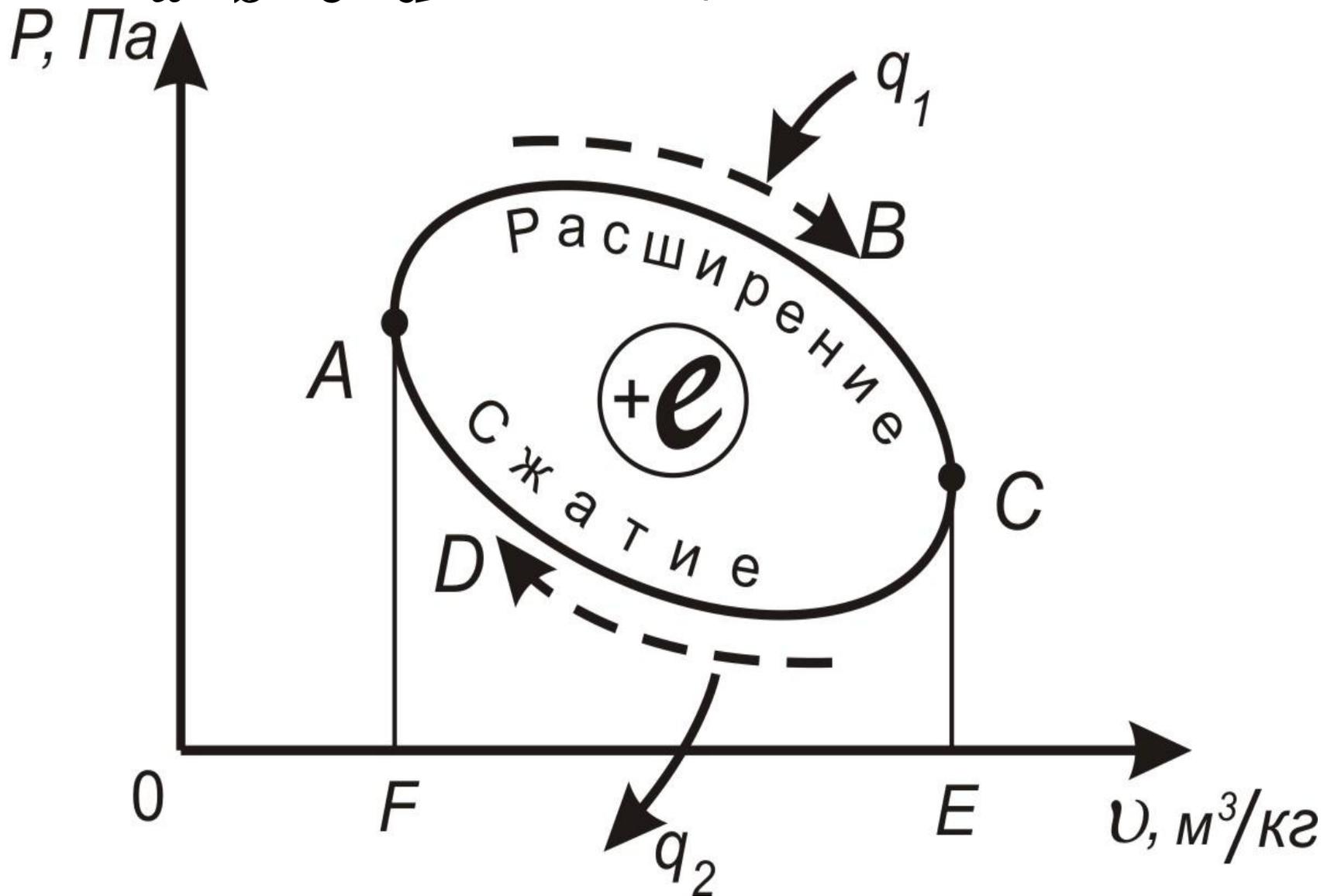
1 положение: теплота не может переходить самопроизвольно от менее нагретого тела к более нагретому.

2 положение: только часть подведенной теплоты может переведена в работу, а оставшаяся же часть отводится в холодильник.

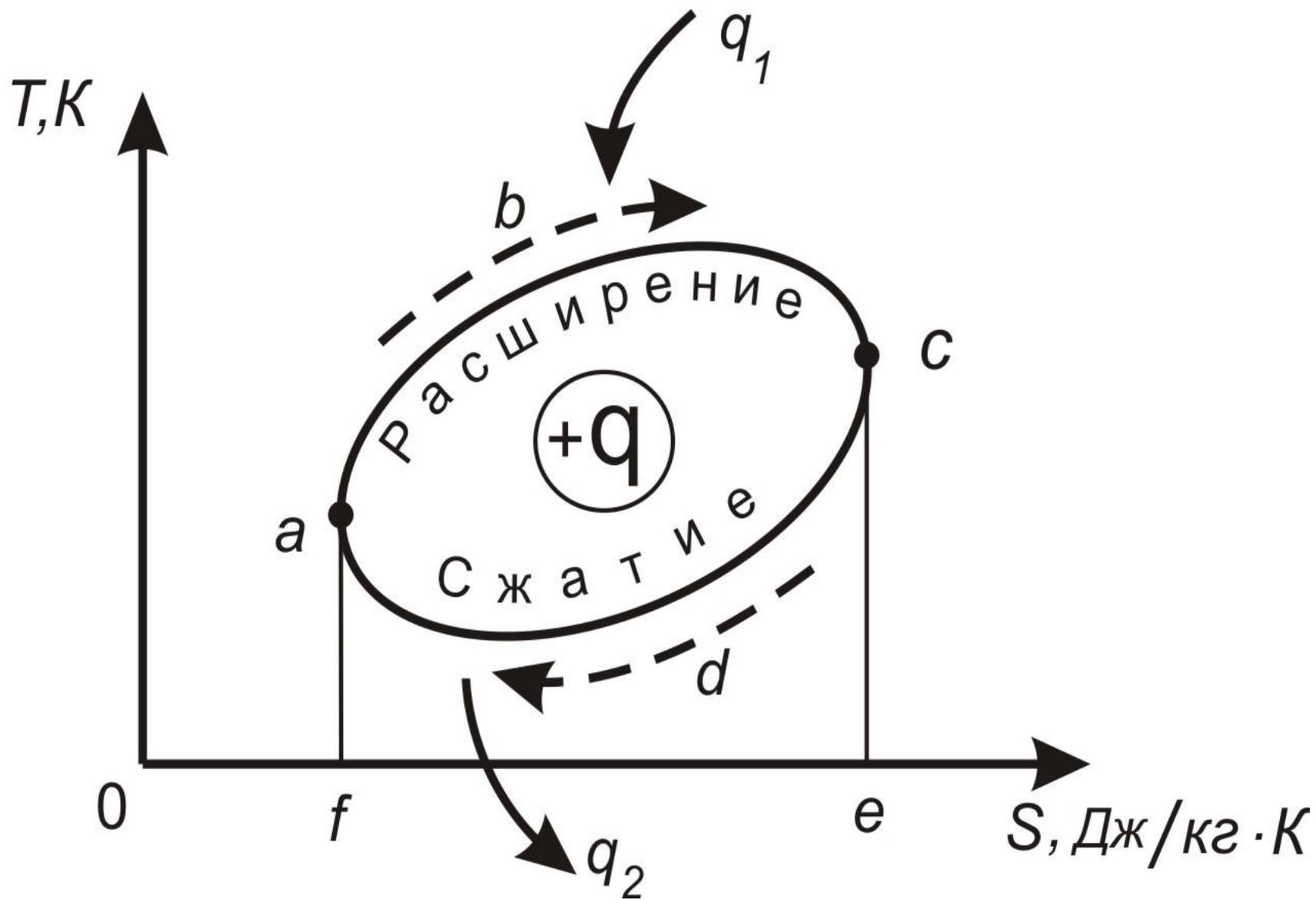
Круговые процессы тепловых машин

Процесс в котором газ пройдя ряд последовательных состояний, возвращается в исходное состояние называется круговым процессом или циклом.

Рассмотрим круговой процесс **A-B-C-D** в координатах pV
и **a-b-c-d** в TS -координатах



Круговой процесс **a-b-c-d** в TS - координатах



На участке $A-B-C$ рабочее тело получает от нагревателя (источника теплоты) некоторое количество теплоты, в результате чего совершает работу расширения $\square_1 = A - B - C - E - F - A$.

Затем на участке сжатия $C-D-A$ оно возвращается в исходное положение, определяемое точкой A . Для осуществления этого процесса от рабочего тела необходимо отвести определенное количество теплоты. Работа сжатия \square_2 на участке $C-D-A$ отрицательная.

Следовательно, работа цикла равна $\square_{ц} = \square_1 - \square_2$

равная площади $A-B-C-D$, т.е. площади цикла.

Если в круговом процессе линия расширения лежит выше линии сжатия, то он называется прямым. По этому циклу работают все тепловые двигатели.

Если линия расширения лежит ниже линии сжатия, то такой круговой процесс называется обратным. По этому циклу работают все холодильные установки и тепловые насосы.

В координатах $X-S$ на участке $a-b-c$, протекающем при $\Delta S > 0$, к рабочему телу от источника теплоты подводиться количество теплоты q_1 равное площади $a-b-c-e-f-a$

Для возвращения в исходное состояние a необходимо отвести от рабочего тела количество теплоты q_2 равное площади $c-d-a-f-e-c$. Отсюда следует, что количество теплоты, превращенной в цикле в работу, равно $q_u = q_1 - q_2$ равное площади

$$a-b-c-d-a > 0.$$

Таким образом, для осуществления кругового процесса необходимо наличие трех элементов: **источника теплоты** (нагревателя) с температурой T_1 , **охладителя** с температурой $T_2 < T_1$ и **рабочего тела**, которое последовательно вступает в теплообмен с нагревателем и охладителем.

2. Термический КПД цикла. Холодильный коэффициент.

Основной теплотехнической характеристикой цикла является **термический коэффициент полезного действия η_t** .

Термический КПД показывает какая часть затраченной теплоты превращается в работу.

Он **равен** отношению теплоты затраченной на получение полезной работы ко всей затраченной теплоте.

Термический КПД η_t равен:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} \quad \eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

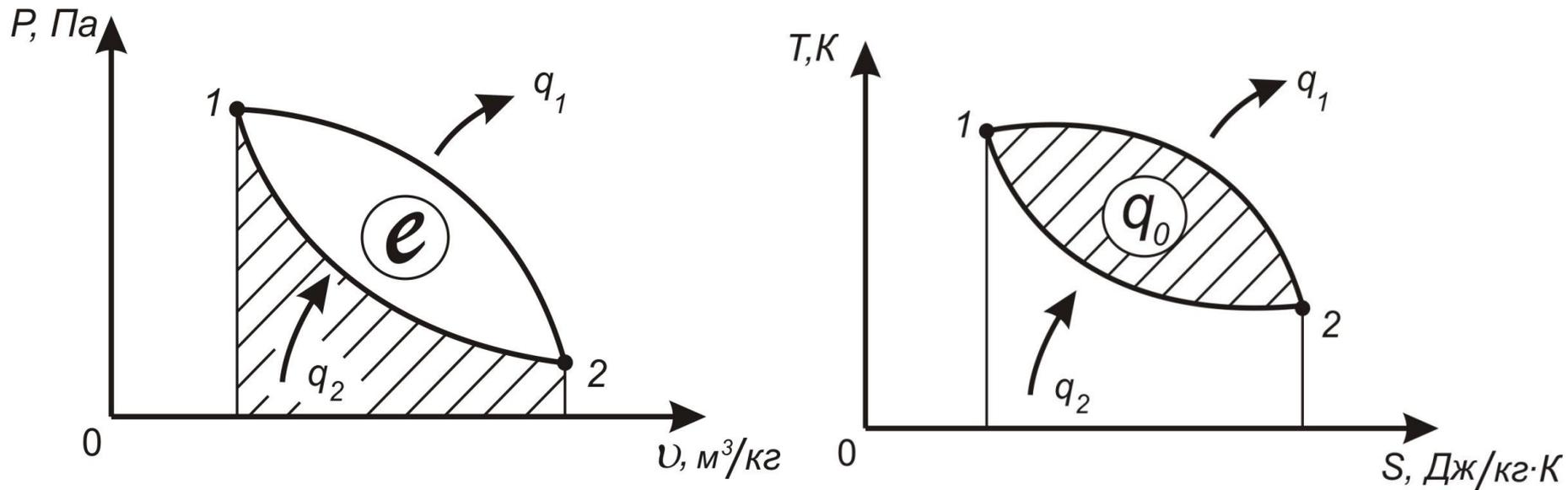
Термическим КПД оценивается степень совершенства цикла теплового двигателя. Чем выше КПД, тем больше работа, полученная при заданном подводе теплоты, т.е. экономичность двигателя выше.

Холодильный коэффициент

Работа холодильных машин оценивается холодильным коэффициентом.

Холодильный коэффициент это есть отношение отведенной теплоты к затраченной на это работе

$$\chi = \frac{q_2}{\square_{ц}} = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{q_2}{q_1} - q_2$$

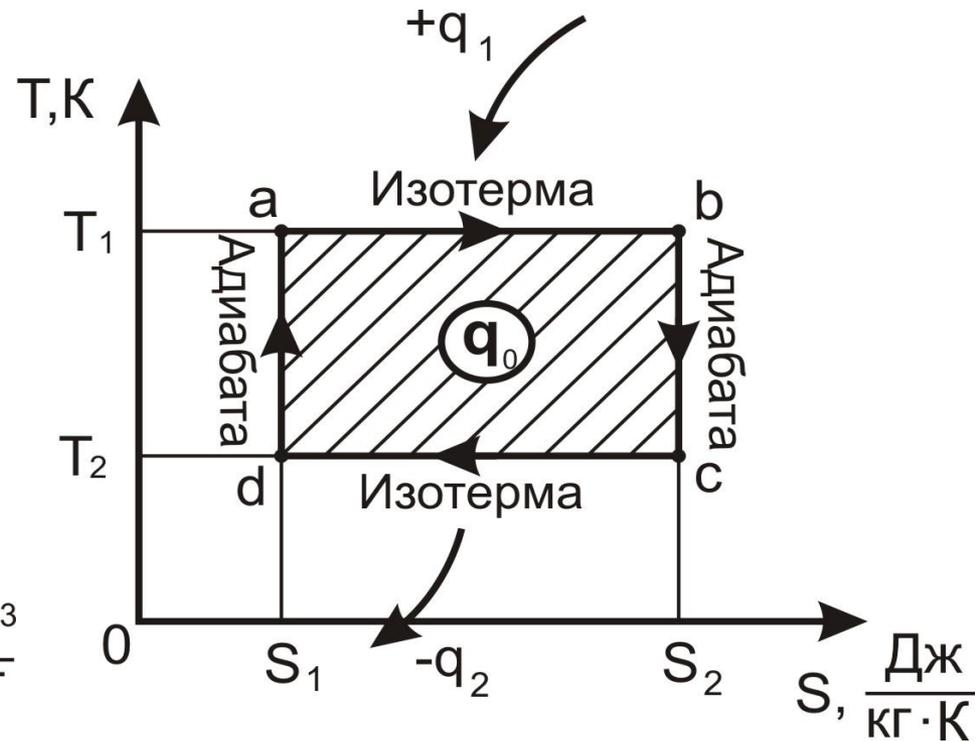
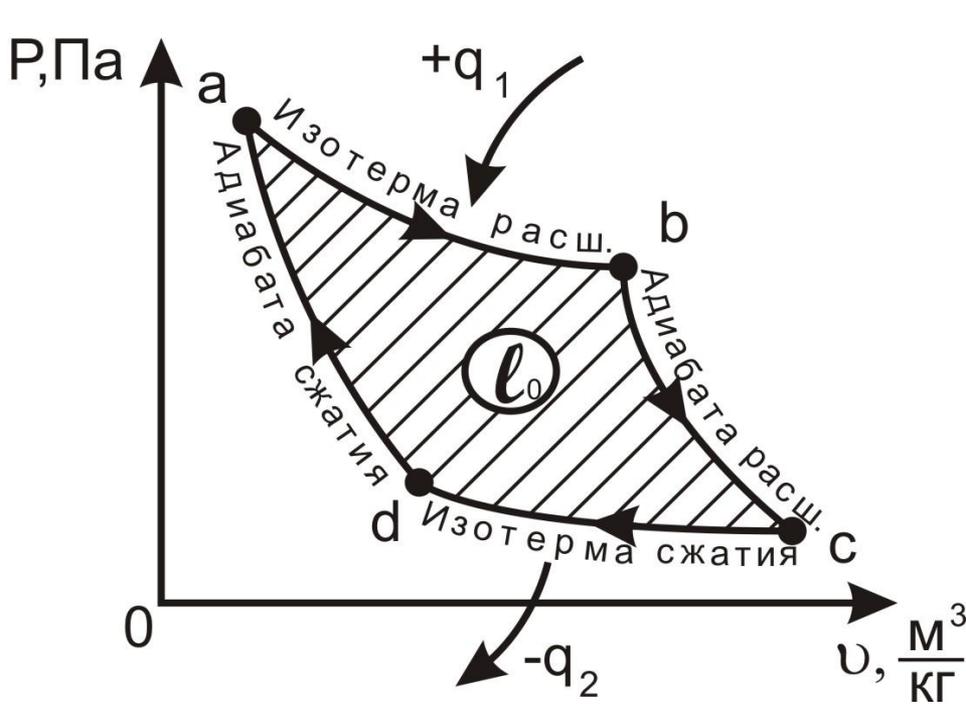


$$q_1 = q_2 + q_0$$

где q_0 - теплота, полученная работой сжатия;
 q_2 - теплота, отведенная от тела.

3. Прямой цикл Карно

Прямой цикл Карно состоит из двух изотерм ($a-b$ и $c-d$) и двух адиабат ($b-c$ и $d-a$).



На участке расширения $a-b$ к рабочему телу подводится от нагревателя количество теплоты q_1 при температуре T_1 . Далее на участке $b-c$ происходит адиабатное расширение от температуры T_1 до T_2 . На участке $c-d$ происходит изотермическое сжатие. При этом от рабочего тела отводится к охладителю количество теплоты q_2 при температуре T_2 .

В результате дальнейшего адиабатного сжатия на участке $d - a$ рабочее тело возвращается в исходное состояние. На участках $(a - b$ и $c - d)$ изменение внутренней энергии равно нулю, а подведенная (отведенная) теплота равна работе. На участках $(b - c$ и $d - a)$ нет подвода (отвода) теплоты, а работа совершается за счет внутренней энергии.

Работа равна:

$$\square_{a-b} = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} \quad \square_{c-d} = -R \cdot T_2 \cdot \ln \frac{v_3}{v_4}$$

$$\square_{b-c} = C_v \cdot (T_2 - T_3)$$

$$\square_{d-a} = -C_v \cdot (T_4 - T_1)$$

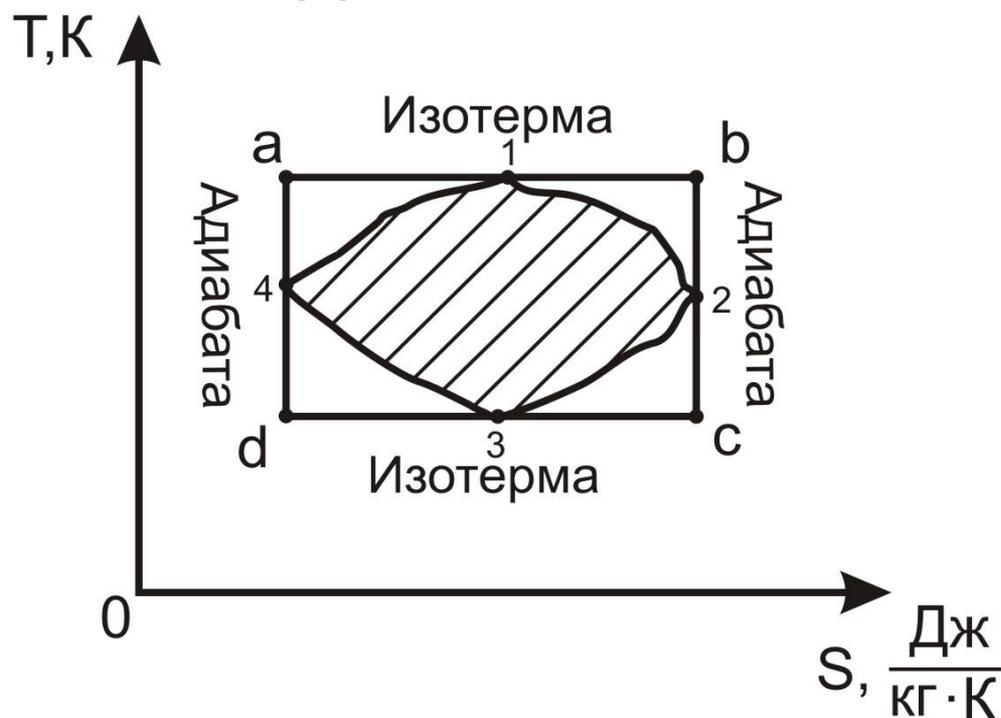
Термический КПД прямого цикла Карно равен:

$$\eta_t = \frac{R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} - R \cdot T \cdot \ln \frac{v_3}{v_4}}{R \cdot T \cdot \ln \frac{v_2}{v_1}}$$

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

Цикл Карно имеет самый большой КПД. Изобразим цикл Карно на диаграмме $T-S$. Сравнить циклы необходимо при одинаковых значениях температур и максимальных и минимальных значениях давлений.

КПД будет больше у того цикла, у которого площадь диаграммы будет больше.



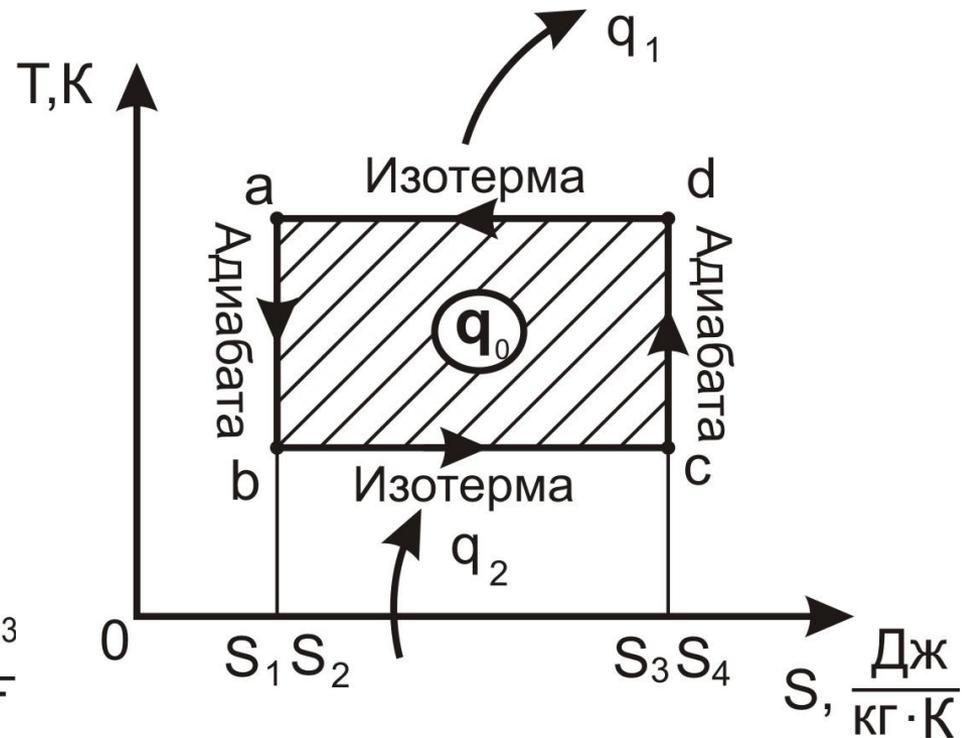
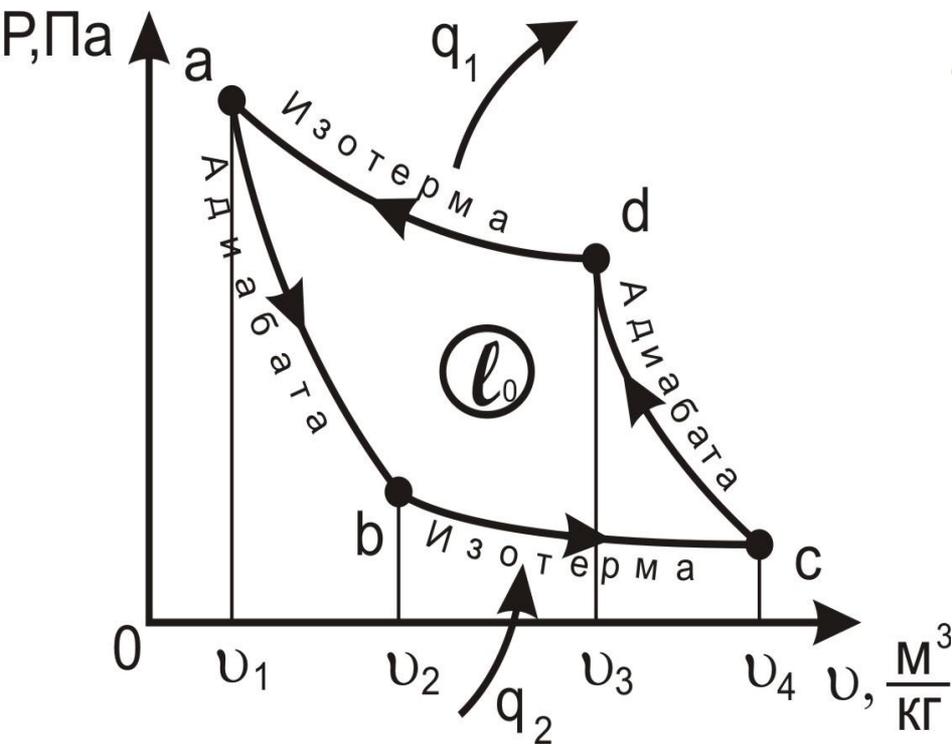
**Полученные уравнения позволяют
сделать следующие выводы:**

- 1. Термический КПД зависит
только от температур T_1 и T_2 ;**
- 2. Чем разность больше между T_1 и T_2
тем выше η_t ;**
- 3. Т.к. $T_2 > 0$, то η_t не может быть
больше 1, он всегда меньше 1 ;**
- 4. η_t не зависит от природы
рабочего тела.**

4. Обратный цикл Карно

Обратный цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат, но процесс протекает против часовой стрелки.

Рассмотрим обратный цикл Карно в pV и TS - координатах



$a-b$ - адиабатное расширение сжатого газа. Температура резко понижается;

$b-c$ - рабочее тело продолжает расширяться в изотермическом процессе;

q_2 - теплота, отбираемая от охладителя;

$c-d$ - адиабатное сжатие газа.

Температура газа значительно повышается и становится выше, чем температура окружающей среды;

$d-a$ - охлаждение нагретого газа в изотермическом процессе с отводом теплоты q_1 .

**Холодильный коэффициент
обратного цикла Карно равен:**

$$\chi = \frac{q_2}{q_2 - q_1} = \frac{T_2 \cdot (S_3 - S_2)}{T_1 \cdot (S_4 - S_1) - T_2 \cdot (S_3 - S_2)}$$

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