



## 2.2 Основы термодинамики

**2.2.1** Внутренняя энергия системы. Внутренняя энергия идеального газа.

**2.2.2** Работа и теплота как формы передачи энергии.

**2.2.3** Первое и второе начало термодинамики. Первый закон термодинамики в изопроцессах

**2.2.4** Теплоемкость. Удельная теплоемкость.

**2.2.5** Уравнение теплового баланса. Принцип действия тепловой машины.

**2.2.6** КПД теплового двигателя.

**Внутренняя энергия (U)** - это суммарная энергия составляющих его молекул.

Температура является мерой внутренней энергии вещества.

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$$

Внутренняя энергия таких газов будет равна суммарной кинетической энергии всех молекул. То есть произведению средней кинетической энергии молекул на их количество:

$$U = N \cdot \overline{E_k}$$

Если газ одноатомный, то его молекулы можно считать материальными точками, которые движутся исключительно поступательно, в этом случае:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT$$

Мы рассматривали именно одноатомный газ. Для идеального газа из молекул с двумя, тремя или большим числом атомов требуется учет кинетической энергии вращения молекул (их уже нельзя считать материальными точками), поэтому выражение для их внутренней энергии отличается коэффициентом:

-для двухатомного газа  $U = \frac{5}{2} \nu RT$

-для трёхатомного ( и более)  $U = 3\nu RT$



Существует три вида теплопередачи.

- 1) **Теплопроводность** – это процесс переноса энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым, осуществляемый хаотически движущимися частицами тела (атомами, молекулами, электронами и т.п.).
- 2) **Конвекция** – вид теплопередачи, при котором внутренняя энергия передается струями или потоками жидкости, или газа.
- 3) **Излучение** – процесс переноса энергии посредством электромагнитного излучения.

Количество переданной при теплообмене внутренней энергии называют **количеством теплоты**. Обычно ее обозначают  $Q$  и считают *положительной*, если тело принимает теплоту, и *отрицательной*, если отдает.

Для нагревания тела массой  $m$  от температуры  $t_1$  до температуры  $t_2$  необходимо отдать ему количество теплоты:


$$Q = cm\Delta t$$

**Удельная теплоёмкость ( $c$ )** – величина, численно равная количеству теплоты, которое получает или отдаёт вещество массой 1 кг при изменении его температуры на 1 К.

**Удельная теплота парообразования ( $r$ )** – величина, численно равная количеству теплоты, необходимому для превращения при постоянной температуре жидкости массой 1 кг в пар.

$$Q = r \cdot m$$

При конденсации пара происходит выделение такого же количества теплоты.



При плавлении тела всё тепло идет на увеличение потенциальной энергии молекул.

**Удельная теплота плавления ( $\lambda$ )** – величина, численно равная количеству теплоты, необходимому для превращения кристаллического вещества массой 1 кг при температуре плавления в жидкость.

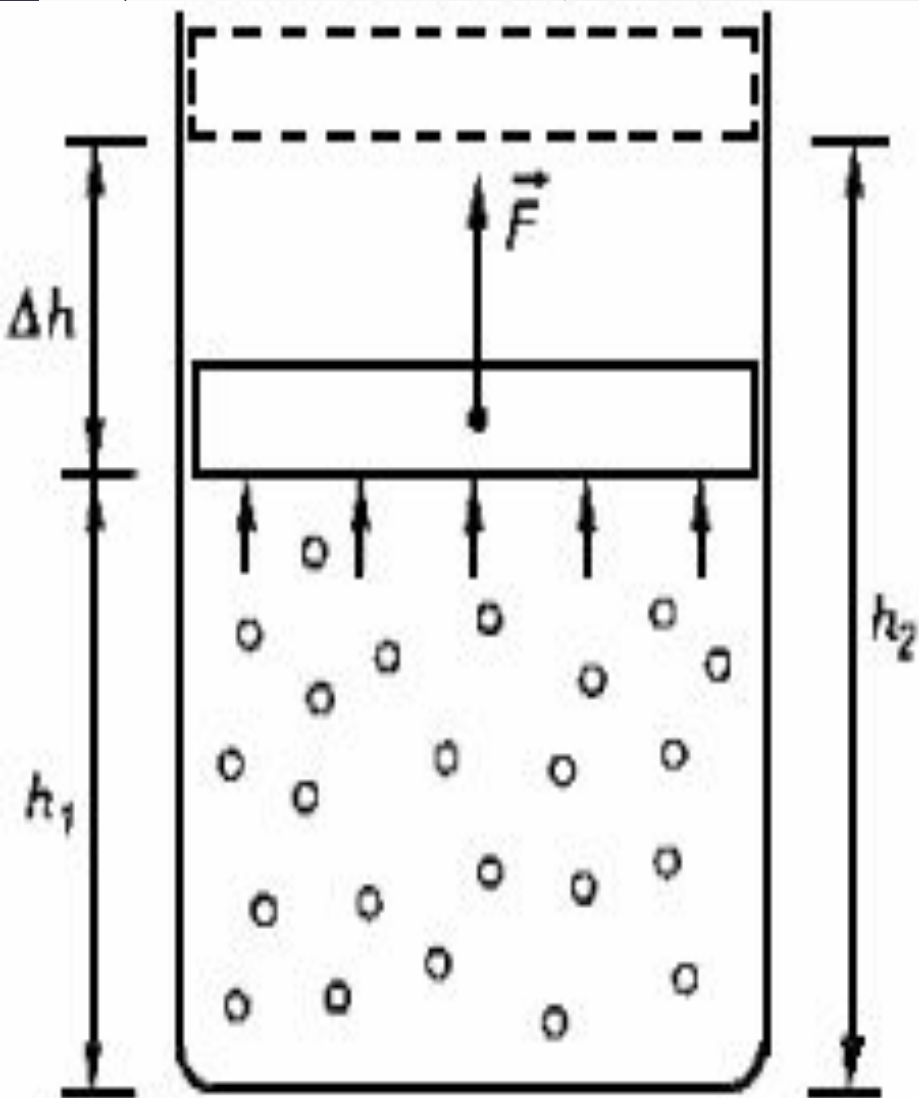
$$Q = \lambda m$$

Количество теплоты, выделяемое при кристаллизации тела равно:

$$Q = - \lambda m$$



Внутренняя энергия газа это кинетическая энергия составляющих его частиц, значит газ может сам совершать работу, например, при нагревании расширяясь и передвигая поршень.



Если газ расширяется изобарно, то сила, действующая со стороны газа на поршень:  $F = p \cdot S$ , где  $S$  - площадь поршня.

При подъёме поршня на высоту  $\Delta h = h_2 - h_1$  газ совершает работу  $A' = p \Delta V$

При расширении газ совершает положительную работу, так как направление силы и направление перемещения поршня совпадают. Работа, совершаемая внешними силами над газом, отличается от работы самого газа только знаком:  $A = -A'$ , так как сила, действующая на газ, направлена против, а перемещение остается неизменным.

Поэтому, работа внешних сил, действующих на газ равна  $A = -p \Delta V$

За исключением движения небесных тел, нет таких явлений, в которых механическое движение не сопровождалось бы нагреванием или охлаждением окружающих тел.

### **Первый закон термодинамики**

Изменение внутренней энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:

$$\Delta U = A + Q$$

Если система изолирована, то работа внешних сил равна нулю ( $A=0$ ) и система не обменивается теплотой с окружающими телами ( $Q=0$ ). В этом случае и  $\Delta U = 0$ .

**Внутренняя энергия изолированной системы остается неизменной (сохраняется).**



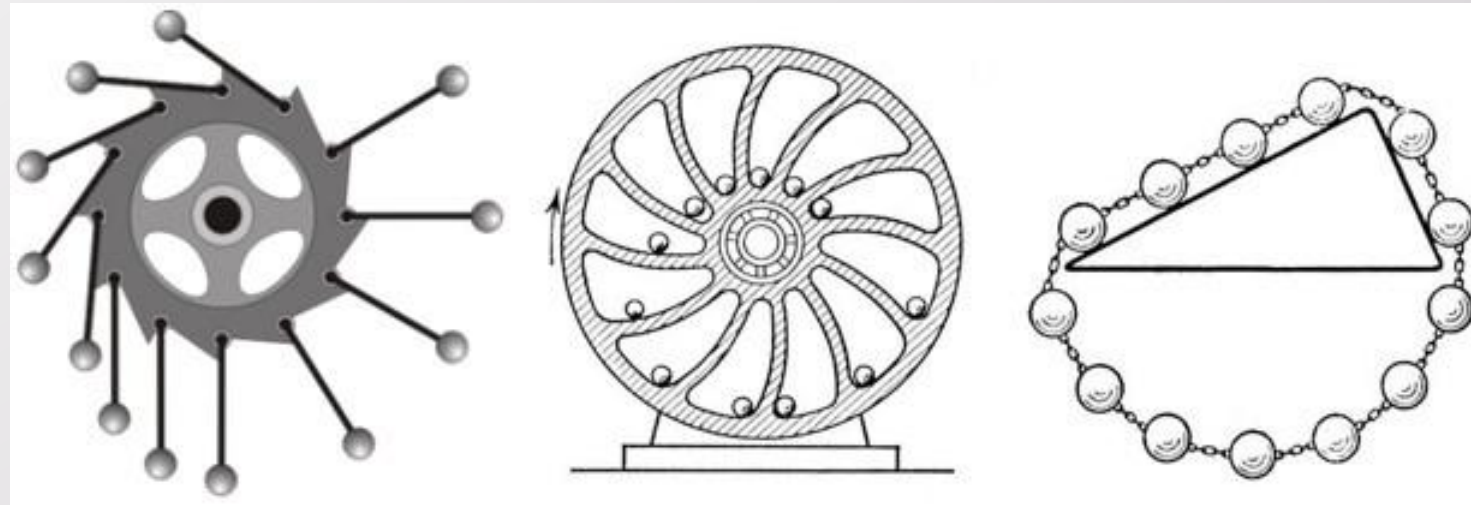
Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами.

$$Q = \Delta U + A'$$

Из первого закона термодинамики вытекает невозможность создания вечного двигателя (устройства, совершающего неограниченное количество работы без затрат топлива или каких-либо других материалов).

Если к системе не поступает тепло ( $Q=0$ ), то работа  $A'$  может быть совершена только за счет убыли внутренней энергии  $A' = -\Delta U$ .

После того, как запас энергии исчерпается, двигатель перестанет работать.



## Применение первого закона термодинамики к изопроцессам:

а) изотермический процесс  $T = const \Rightarrow \Delta T = 0$ .

В этом случае изменение внутренней энергии идеального газа:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT = 0 \Rightarrow Q = A'$$

Всё переданное газу тепло расходуется на совершение им работы против внешних сил;

б) **изохорный процесс**  $V = const \Rightarrow \Delta V = 0$ .

В этом случае работа газа:

$$A' = p\Delta V = 0 \Rightarrow \Delta U = Q.$$

Всё переданное газу тепло расходуется на увеличение его внутренней энергии;

в) **изобарный процесс**  $p = const \Rightarrow \Delta p = 0$ .


В этом случае:

$$Q = \Delta U + A'$$

**Адиабатным** называется процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой:

$$Q = 0$$

В этом случае  $A' = -\Delta U$ , т.е. изменение внутренней энергии газа происходит за счёт совершения работы газа над внешними телами.



**Второй закон термодинамики:** невозможно передать энергию (теплоту) от менее нагретой системы к более нагретой без одновременного изменения этих двух систем или окружающих тел.

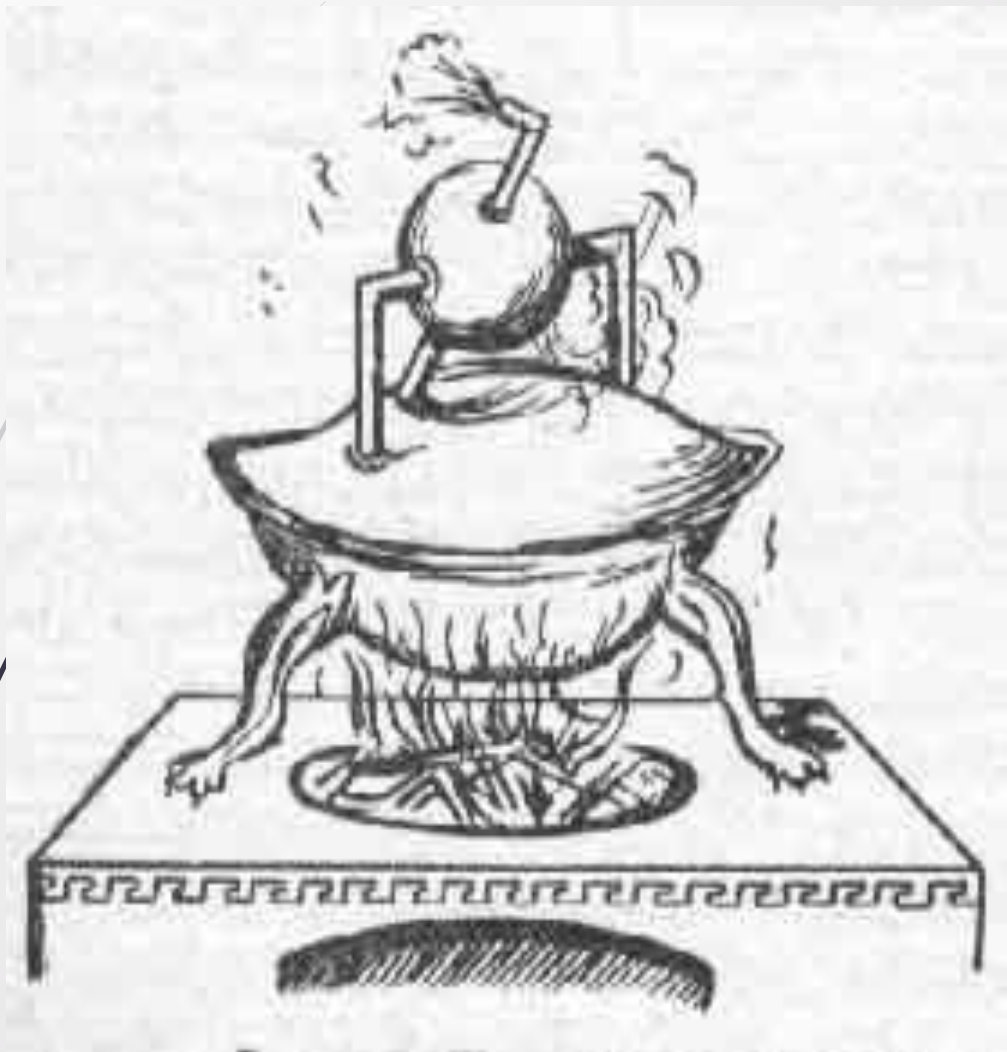
То есть можно говорить о необратимости тепловых процессов – нельзя обратить их вспять от их естественного протекания (кроме тех случаев, когда обратимый процесс является частью более сложного процесса).

Все процессы произвольно протекают в одном направлении.

Они не обратимы.

Направление процессов в природе указывается вторым законом термодинамики.

**Тепловой двигатель** – устройство, в котором внутренняя энергия топлива преобразуется в механическую работу.



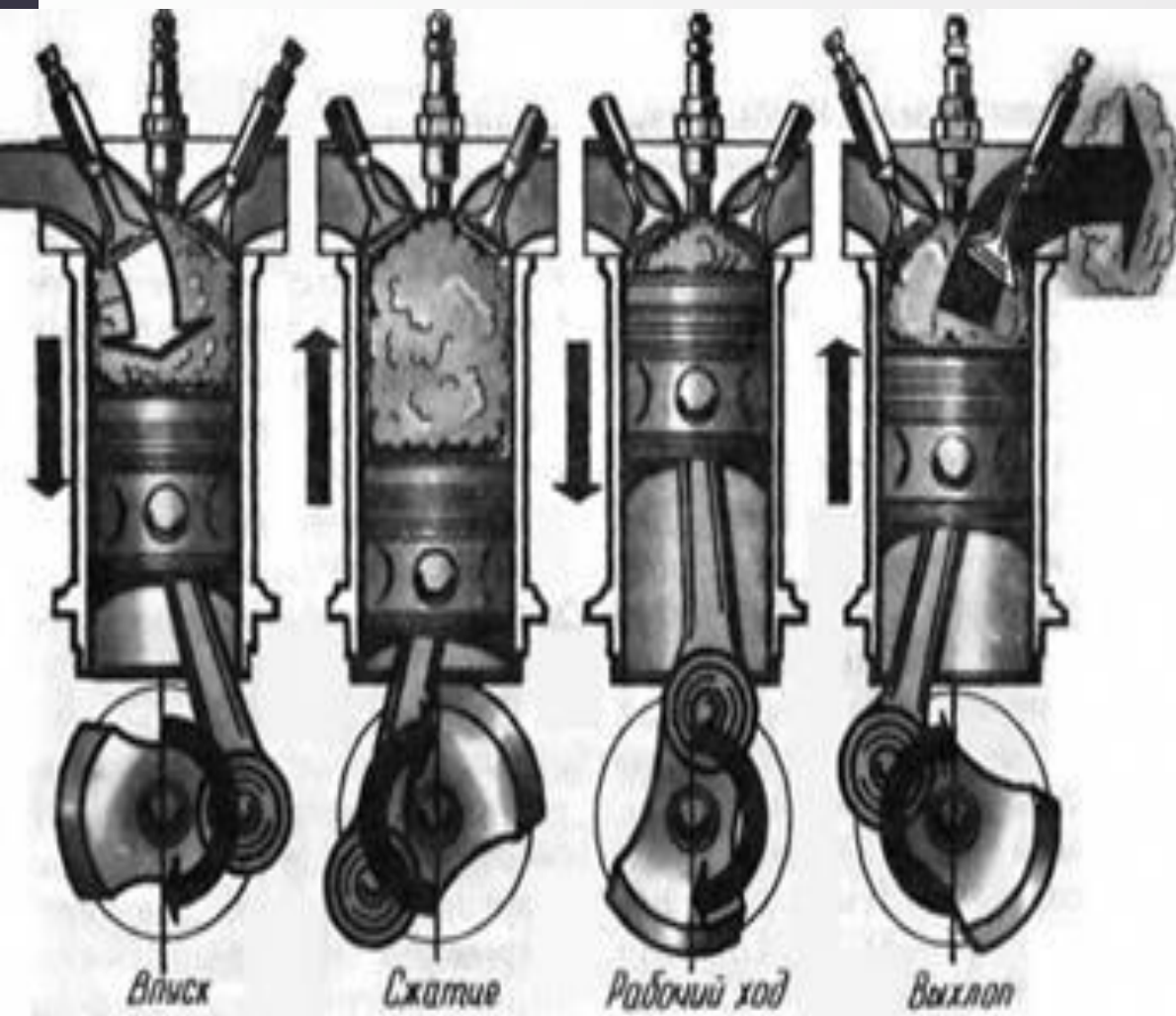


Все тепловые двигатели функционально делятся на три составляющие:

- Нагреватель
- Рабочее тело
- Холодильник

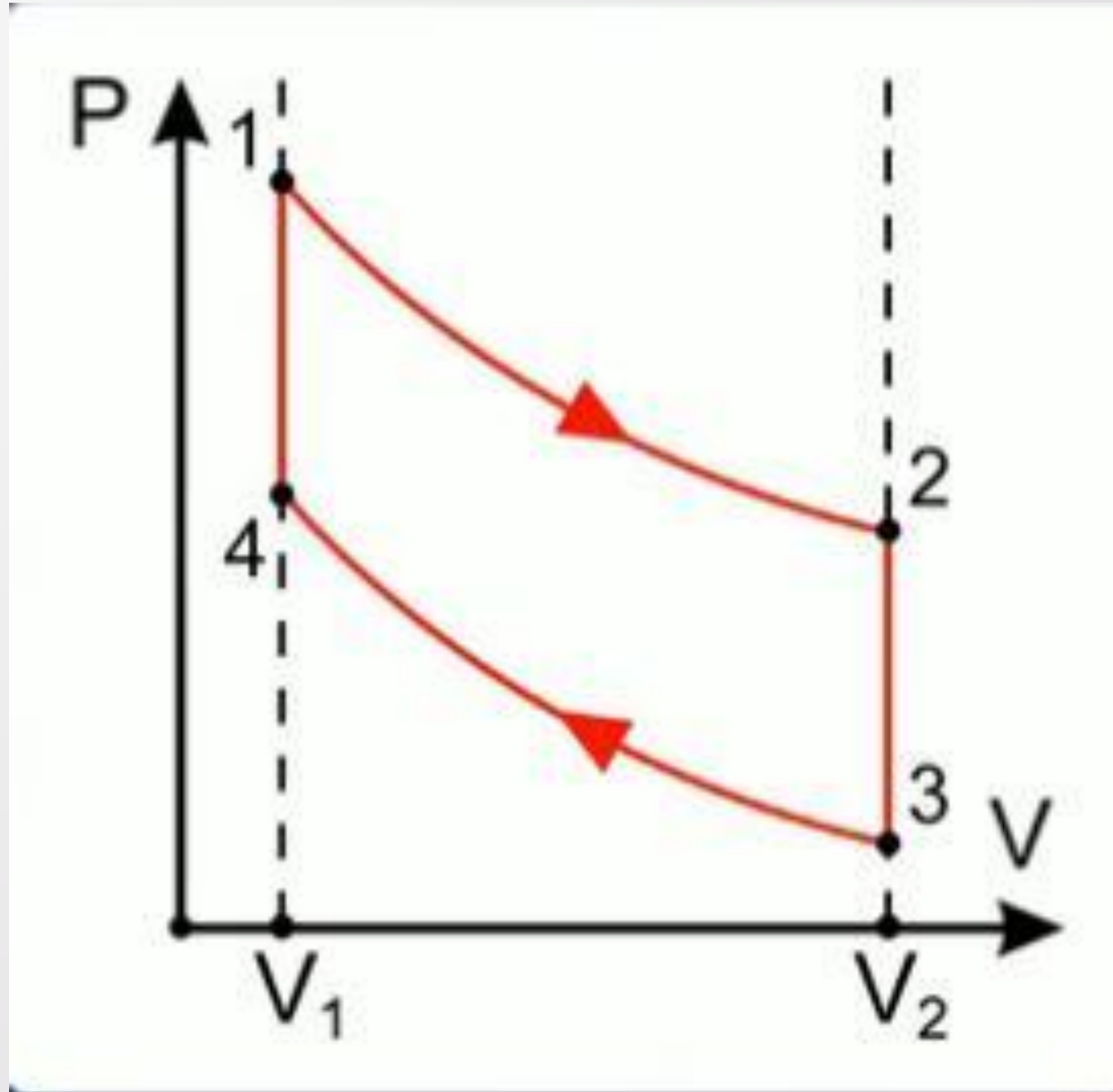






## Принцип действия тепловой машины:

Нагревателем является процесс сгорания топлива, которое при сгорании передаёт большое количество теплоты  $Q_H$  газу, нагревая тот до больших температур. Горячий газ, который является рабочим телом, вследствие повышения температуры, а следовательно, и давления, расширяется, совершая работу  $A$ . Конечно же, так как всегда существует теплопередача с корпусом двигателя, окружающим воздухом и т. д., работа не будет численно равняться переданной теплоте – часть энергии  $Q_X$  уходит на холодильник, которым, как правило, является окружающая среда.



**КПД (Коэффициент полезного действия) теплового двигателя** – отношение полезной работы, выполненной рабочим телом, к количеству теплоты, переданной телу от нагревателя.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q_{\text{н}}}$$

Сохранение энергии: энергия, отошедшая от нагревателя, никуда не исчезает - часть её отводится в виде работы, остальная часть приходит на холодильник:

$$Q_{\text{н}} = A_{\text{п}} + Q_{\text{х}}$$

Тогда,  $\eta = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}}$



Двигатель	$\eta$ в %
Паровая машина	1
Паровоз	7–9
Карбюраторный двигатель	20–30
Газовая турбина	35–40
Ракетный двигатель	47