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:

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

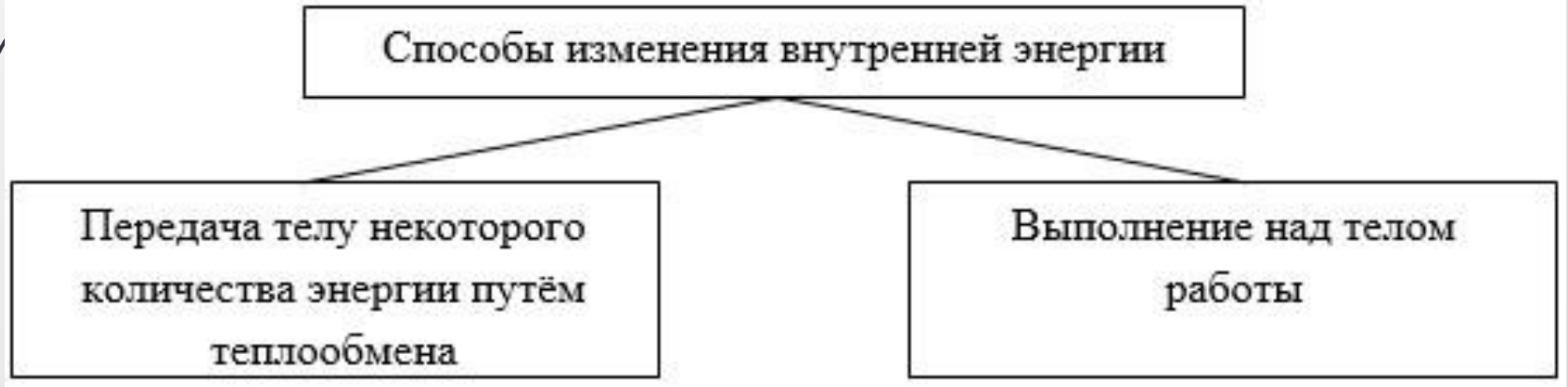
Если газ одноатомный, то его молекулы можно считать материальными точками, которые движутся исключительно поступательно, в этом случае:

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

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.

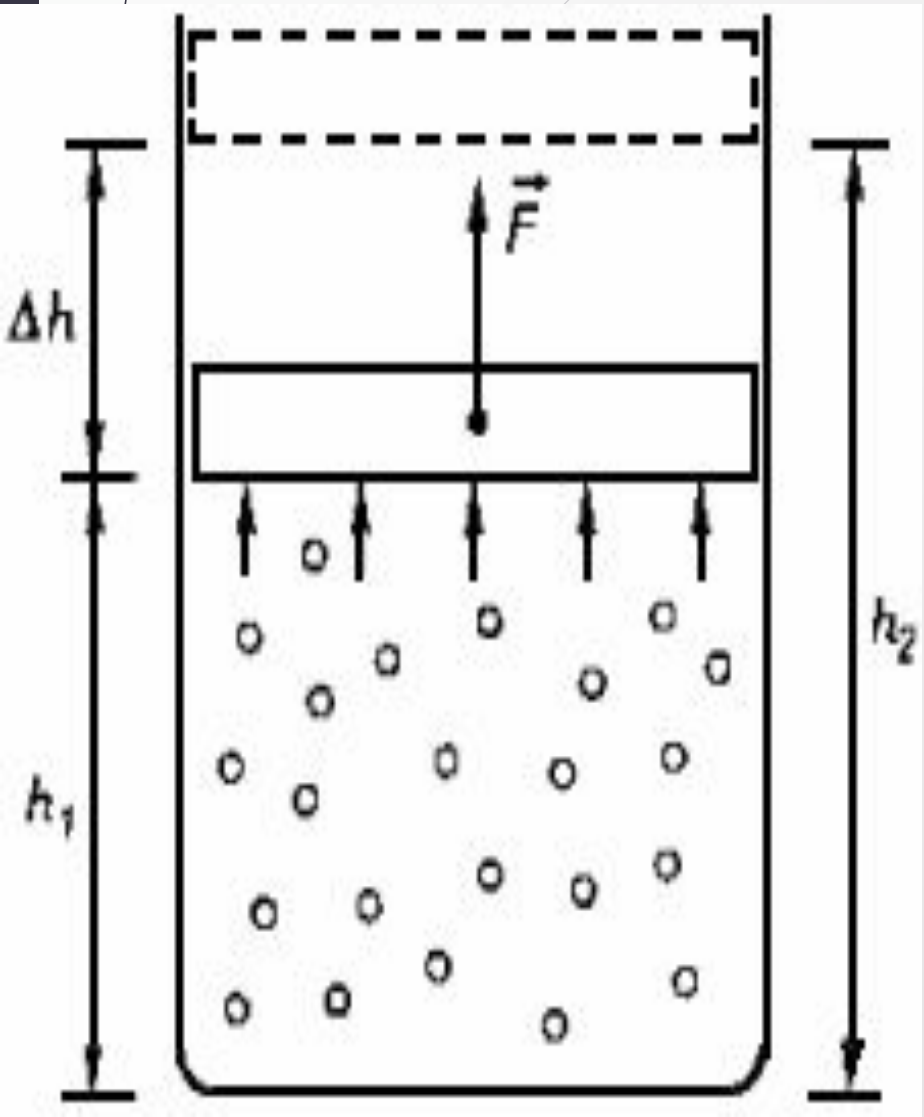
Удельная теплота плавления (λ) – величина, численно равная количеству теплоты, необходимому для превращения кристаллического вещества массой 1 кг при температуре плавления в жидкость.

$$Q=\lambda m$$

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`=pΔV**

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= - pΔV**

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:

$$\Delta U = A + Q$$

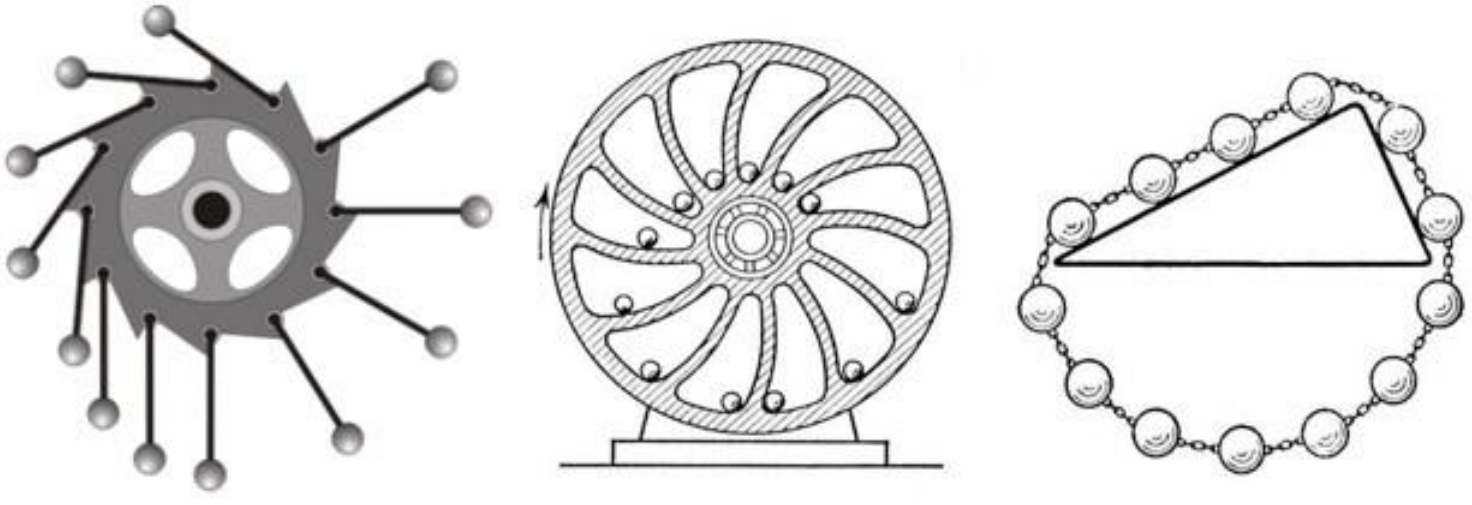
Если система изолирована, то работа внешних сил равна нулю($A=0$) и система не обменивается теплотой с окружающими телами ($Q=0$). В этом случае и $\Delta U = 0$. **Внутренняя энергия изолированной системы остается неизменной (сохраняется).**

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).

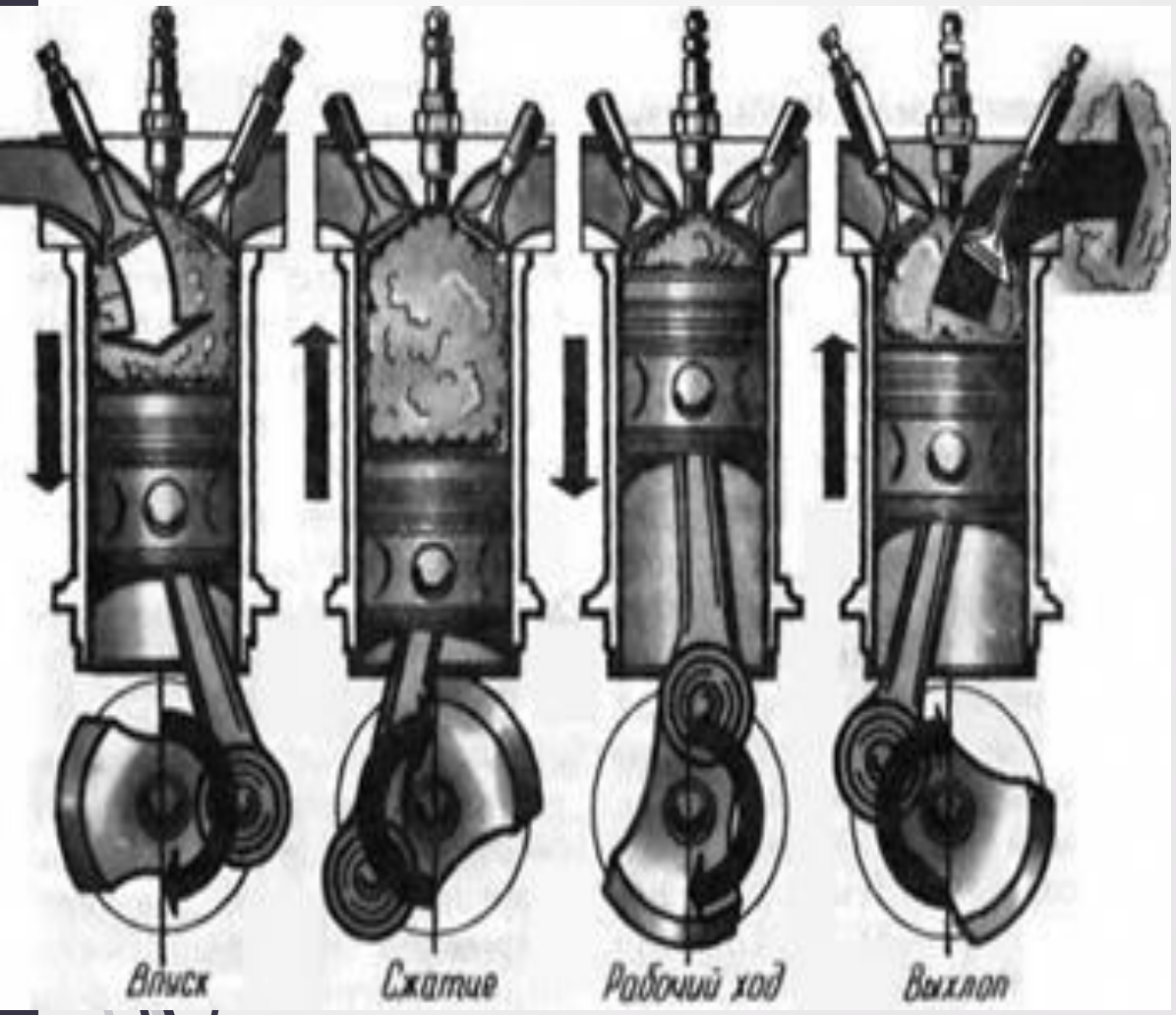
Все процессы произвольно протекают в одном направлении. Они не обратимы.

Направление процессов в природе указывается вторым законом термодинамики.

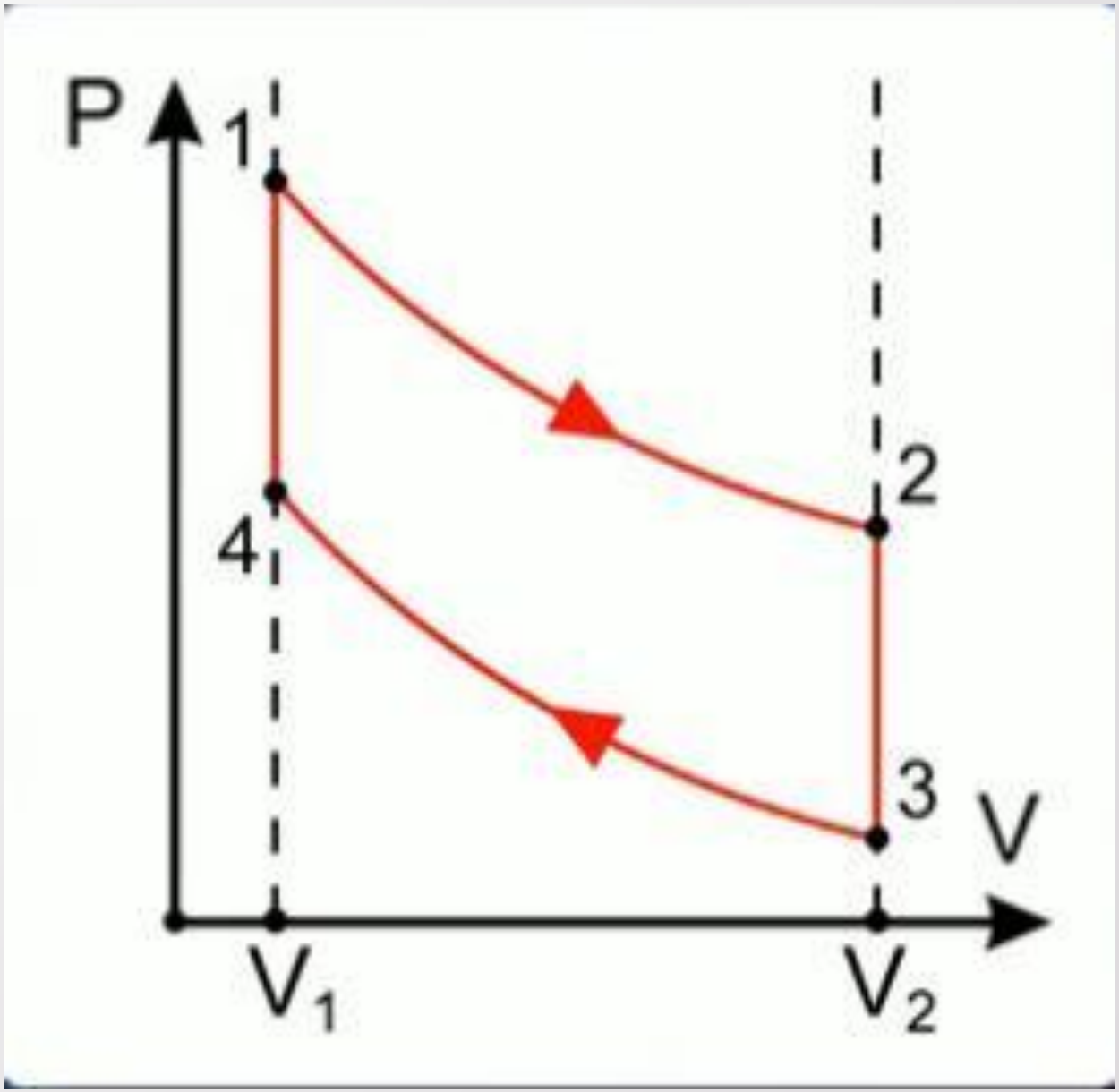
Тепловой двигатель – устройство, в котором внутренняя энергия топлива преобразуется в механическую работу.

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 $Q_{\text{н}}$газу, нагревая тот до больших температур. Горячий газ, который является рабочим телом, вследствие повышения температуры, а следовательно, и давления, расширяется, совершая работу А. Конечно же, так как всегда существует теплопередача с корпусом двигателя, окружающим воздухом и т. д., работа не будет численно равняться переданной теплоте – часть энергии $Q_{\text{х}}$ уходит на холодильник, которым, как правило, является окружающая среда.


P
1
2
4
3
V
V_1
V_2

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

$$\eta = \frac{A_п}{Q_н}$$

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

$$Q_н = A_п + Q_х$$

Тогда, $\eta = \frac{Q_н - Q_х}{Q_н}$ => $\eta = 1 - \frac{Q_х}{Q_н}$

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