

Принцип действия тепловых двигателей. КПД тепловых двигателей



Ребята, онлайн урок пройдет по расписанию!

Тепловые двигатели

Большая часть двигателей на Земле — это тепловые двигатели.

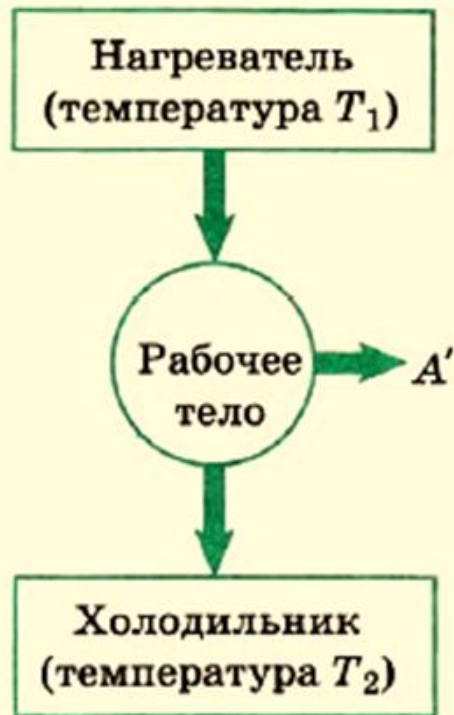
Тепловые двигатели — это устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую работу.

Для того чтобы двигатель совершал работу, необходима разность давлений по обе стороны поршня двигателя или лопастей турбины. Во всех тепловых двигателях эта разность давлений достигается за счёт повышения температуры **рабочего тела (газа)** на сотни или тысячи градусов по сравнению с температурой окружающей среды. Такое повышение температуры происходит при сгорании топлива.



Рабочим телом у всех тепловых двигателей является газ, который совершает работу при расширении. Обозначим начальную температуру рабочего тела (газа) через T_1 . Эту температуру в паровых турбинах или машинах приобретает пар в паровом котле. В двигателях внутреннего сгорания и газовых турбинах повышение температуры происходит при сгорании топлива внутри самого двигателя. Температуру T_1 называют **температурой нагревателя**.

ХОЛОДИЛЬНИК



По мере совершения работы газ теряет энергию и неизбежно охлаждается до некоторой температуры T_2 , которая обычно несколько выше температуры окружающей среды. Её называют **температурой холодильника**. Холодильником является **атмосфера** или специальные устройства для охлаждения и конденсации отработанного пара — **конденсаторы**. В последнем случае температура холодильника может быть немного ниже температуры окружающего воздуха.

Таким образом, в двигателе рабочее тело при расширении не может отдать всю свою внутреннюю энергию на совершение работы. Часть тепла неизбежно передаётся холодильнику (атмосфере) вместе с отработанным паром или выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин.

Принцип работы ТД

Эта часть внутренней энергии топлива теряется. Тепловой двигатель совершает работу за счёт внутренней энергии рабочего тела. Причём в этом процессе происходит передача теплоты от более горячих тел (нагревателя) к более холодным (холодильнику). Принципиальная схема теплового двигателя изображена на рисунке.

Рабочее тело двигателя получает от нагревателя при сгорании топлива количество теплоты Q_1 , совершает работу A' и передаёт холодильнику количество теплоты $Q_2 < Q_1$.

Для того чтобы двигатель работал непрерывно, необходимо рабочее тело вернуть в начальное состояние, при котором температура рабочего тела равна T_1 . Отсюда следует, что работа двигателя происходит по периодически повторяющимся замкнутым процессам, или, как говорят, по циклу.

Цикл — это ряд процессов, в результате которых система возвращается в начальное состояние.

КПД теплового двигателя

Невозможность полного превращения внутренней энергии газа в работу тепловых двигателей обусловлена необратимостью процессов в природе. Если бы тепло могло самопроизвольно возвращаться от холодильника к нагревателю, то внутренняя энергия могла бы быть полностью превращена в полезную работу с помощью любого теплового двигателя. Второй закон термодинамики может быть сформулирован следующим образом:

невозможно создать вечный двигатель второго рода, двигатель, который полностью превращал бы теплоту в механическую работу.

Согласно закону сохранения энергии работа, совершаемая двигателем, равна:

$$A' = Q_1 - |Q_2|,$$

где Q_1 — количество теплоты, полученной от нагревателя, а Q_2 — количество теплоты, отданной холодильнику.

Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют отношение работы A' , совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученной от нагревателя:

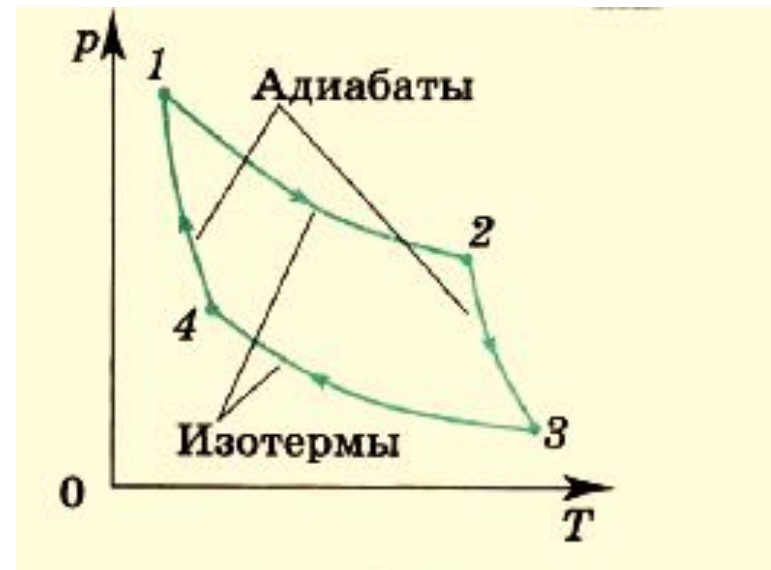
$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}.$$

Максимальное значение КПД тепловых двигателей

Законы термодинамики позволяют вычислить максимально возможный КПД теплового двигателя, работающего с нагревателем, имеющим температуру T_1 , и холодильником с температурой T_2 , а также определить пути его

Впервые максимально возможный КПД теплового двигателя вычислил французский инженер и учёный Сади Карно (1796—1832) в труде «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» (1824).

Карно придумал идеальную тепловую машину с идеальным газом в качестве рабочего тела. Идеальная тепловая машина Карно работает по циклу, состоящему из двух изотерм и двух адиабат, причем эти процессы считаются обратимыми



Максимальное значение КПД

Сначала сосуд с газом приводят в контакт с нагревателем, газ изотермически расширяется, совершая положительную работу, при температуре T_1 , при этом он получает количество теплоты Q_1 .

Затем сосуд теплоизолируют, газ продолжает расширяться уже адиабатно, при этом его температура понижается до температуры холодильника T_2 . После этого газ приводят в контакт с холодильником, при изотермическом сжатии он отдаёт холодильнику количество теплоты Q_2 , сжимаясь до объёма $V_4 < V_1$. Затем сосуд снова теплоизолируют, газ сжимается адиабатно до объёма V_1 и возвращается в первоначальное состояние. Для КПД этой машины было получено следующее выражение:

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Как следует из формулы, КПД машины Карно прямо пропорционален разности абсолютных температур нагревателя и холодильника.

Формула даёт теоретический предел для максимального значения КПД тепловых двигателей. Она показывает, что тепловой двигатель тем эффективнее, чем больше разность температур нагревателя и холодильника.

Максимальное значение КПД

Лишь при температуре холодильника, равной абсолютному нулю, $\eta = 1$. Кроме этого доказано, что КПД, рассчитанный по формуле, не зависит от рабочего вещества.

Но температура холодильника, роль которого обычно играет атмосфера, практически не может быть ниже температуры окружающего воздуха. Повышать температуру нагревателя можно. Однако любой материал (твёрдое тело) обладает ограниченной теплостойкостью, или жаропрочностью. При нагревании он постепенно утрачивает свои упругие свойства, а при достаточно высокой температуре плавится.

Сейчас основные усилия инженеров направлены на повышение КПД двигателей за счёт уменьшения трения их частей, потерь топлива вследствие его неполного сгорания и т. д.

Главное значение этой формулы состоит в том, что в ней указан путь увеличения КПД, для этого надо повышать температуру нагревателя или понижать температуру холодильника.

КПД реальной машины

Любая реальная тепловая машина, работающая с нагревателем, имеющим температуру T_1 , и холодильником с температурой T_2 , не может иметь КПД, превышающий КПД идеальной тепловой машины:

$$\frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Процессы, из которых состоит цикл реальной тепловой машины, не являются обратимыми.

Формула
для

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

даёт теоретический предел

максимального значения КПД тепловых двигателей. Она показывает, что тепловой двигатель тем эффективнее, чем больше разность температур нагревателя и холодильника.

Лишь при температуре холодильника, равной абсолютному нулю, $\eta = 1$. Кроме этого доказано, что КПД, рассчитанный по формуле, не зависит от рабочего вещества.

КПД реальных машин

Но температура холодильника, роль которого обычно играет атмосфера, практически не может быть ниже температуры окружающего воздуха. Повышать температуру нагревателя можно. Однако любой материал (твёрдое тело) обладает ограниченной теплостойкостью, или жаропрочностью. При нагревании он постепенно утрачивает свои упругие свойства, а при достаточно высокой температуре плавится.

Сейчас основные усилия инженеров направлены на повышение КПД двигателей за счёт уменьшения трения их частей, потерь топлива вследствие его неполного сгорания и т. д.

Для паровой турбины начальные и конечные температуры пара примерно таковы: T_1 — 800 К и T_2 — 300 К. При этих температурах максимальное значение коэффициента полезного действия равно 62 % (отметим, что обычно КПД измеряют в процентах). Действительное же значение КПД из-за различного рода энергетических потерь приблизительно равно 40 %. Максимальный КПД — около 44% — имеют двигатели Дизеля.

Недостатки использования тепловых двигателей

- процессы сгорания неизбежно сопровождаются загрязнением окружающей среды.
- при сгорании топлива происходит уменьшение содержания кислорода в атмосфере. Кроме этого, сами продукты сгорания образуют химические соединения, вредные для живых организмов. Загрязнение происходит не только на земле, но и в воздухе, так как любой полёт самолёта сопровождается выбросами вредных примесей в атмосферу.
- одним из следствий работы двигателей является образование углекислого газа, который поглощает инфракрасное излучение поверхности Земли, что приводит к повышению температуры атмосферы. Это так называемый парниковый эффект. Измерения показывают, что температура атмосферы за год повышается на $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Отметим ещё один отрицательный момент при использовании тепловых двигателей. Так, иногда для охлаждения двигателей используется вода из рек и озёр. Нагретая вода затем возвращается обратно. Рост температуры в водоёмах нарушает природное равновесие, это явление называют тепловым загрязнением.

Домашнее задание (5 задач):

1. Рабочее тело тепловой машины получило количество теплоты, равное 70 кДж. При этом холодильнику передано количество теплоты, равное 52,5 кДж. КПД такой машины

- 1) 1,7 % 2) 17,5 % 3) 25 % 4) >100 %

2. Чему равен коэффициент полезного действия паровой турбины, если полученное ею количество теплоты равно 1000 МДж, а полезная работа составляет 400 МДж?

- 1) 4 % 2) 25 % 3) 40 % 4) 60 %

3. Горячий пар поступает в турбину при температуре 500 °С, а выходит из неё при температуре 30 °С. Чему равен КПД турбины? Паровую турбину считайте идеальной тепловой машиной.

- 1) 1 % 2) 61 % 3) 94 % 4) 100 %

Подготовится к контрольной работе

4. Какой должна быть температура нагревателя, для того чтобы стало возможным достижение значения КПД тепловой машины 80 %, если температура холодильника 27 °С?

5. В процессе работы тепловой машины за некоторое время рабочим телом было получено от нагревателя количество теплоты $Q_1 = 1,5 \cdot 10^6$ Дж, передано холодильнику количество теплоты $Q_2 = -1,2 \cdot 10^6$ Дж. Вычислите КПД машины и сравните его с максимально возможным КПД, если температуры нагревателя и холодильника соответственно равны 250 °С и 30 °С.