

КПД теплового двигателя

В тепловых двигателях используется энергия сгорающего топлива. Однако, не вся энергия сгорающего топлива затрачивается на полезную работу, часть энергии безвозвратно рассеивается в окружающую среду.

Чем меньше эта утерянная часть теплоты, тем выше будет эффективность двигателя и его коэффициент полезного действия. Тем больше полезной работы сможет совершить газ при расширении, толкая поршень двигателя, или раскручивая диск газовой турбины.

Элементы тепловой машины

Конструкции тепловых машин отличаются разнообразием. Однако, из каких бы частей двигатель не состоял, он всегда содержит рабочее тело, холодильник и нагреватель (рис. 1).

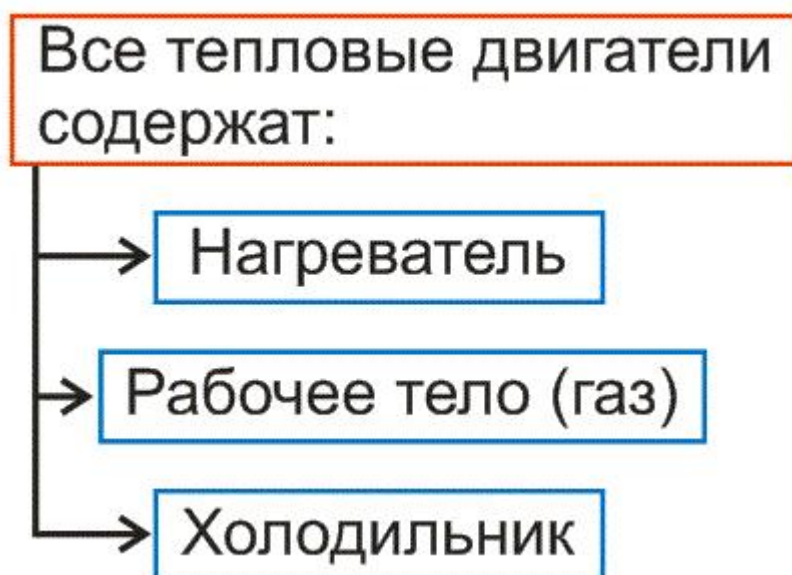


Рис. 1. Любой тепловой двигатель всегда содержит три ключевых элемента

Например, в двигателе внутреннего сгорания рабочим телом будут пары топлива и воздух.

В **двигателе внутреннего сгорания** роль нагревателя совместно выполняют свеча и поршень. Однако, поршень выполняет функции нагревателя только тогда, когда он сжимает газ. А свеча зажигает сжатый газ с помощью искры и вызывает **горение** топлива.

Чтобы передать остатки тепловой энергии атмосфере, двигатели с воздушным охлаждением имеют специальные ребристые поверхности на наружной части цилиндров.

А двигатели, в которых используется жидкостное (водяное) охлаждение, содержат насос, прокачивающий жидкость в специальных полостях двигателя и радиатор с вентилятором. Жидкость интенсивно охлаждается в радиаторе, а вентилятор обеспечивает обдув, чтобы

ускорить охлаждение. Температура охлаждающей жидкости всегда выше температуры окружающего воздуха.

Какие функции выполняет каждый элемент

От нагревателя рабочее тело — газ, или пар, получает запас тепловой энергии (рис. 2). Затем, полученная энергия делится на две, как правило, неравные части. За счет одной части совершается работа.



Рис. 2. Функции ключевых элементов тепловых машин

А оставшаяся часть передаётся холодильнику (например, атмосфере) и рассеивается окружающей средой.

Роль холодильника в тепловом двигателе

Совершая работу, рабочее тело – расширяющийся газ, охлаждается. Температура T_x , до которой газ охладился, называется температурой холодильника.

Так как газ, расширяясь, охлаждается, а при охлаждении энергию нужно куда-то девать, то никакая тепловая машина без холодильника работать не сможет. Чтобы функционировать, тепловая машина обязательно должна отдавать часть тепловой энергии холодильнику.

Обычно температура T_x немного выше температуры окружающей среды. Но если речь идёт о паровых машинах, оснащённых специальным приспособлением для конденсации отработанного пара и его охлаждения – конденсатором, то T_x может быть несколько ниже температуры окружающей атмосферы (рис. 3).



Рис. 3. Если холодильником служит атмосфера, то температура холодильника выше атмосферной, а если – конденсатор, то температура холодильника ниже температуры окружающей среды

Примечание: Паровой конденсатор применяется только в конструкциях паровых двигателей.

На какие части делится энергия нагревателя

Мы выяснили, что за счет одной части энергии газ совершает работу. Вторая часть полученной от нагревателя энергии передаётся холодильнику, который затем рассеивает ее в окружающее пространство (рис. 4).

Эта теплота выбрасывается в атмосферу вместе с отработанным паром, или сгоревшими выхлопными газами турбин и двигателей внутреннего сгорания – то есть, теряется безвозвратно. Главное то, что никакой газ не превращает свою **внутреннюю энергию** в работу полностью. Часть энергии неизбежно будет утеряна.

На полезную работу тратится только часть полученной энергии.

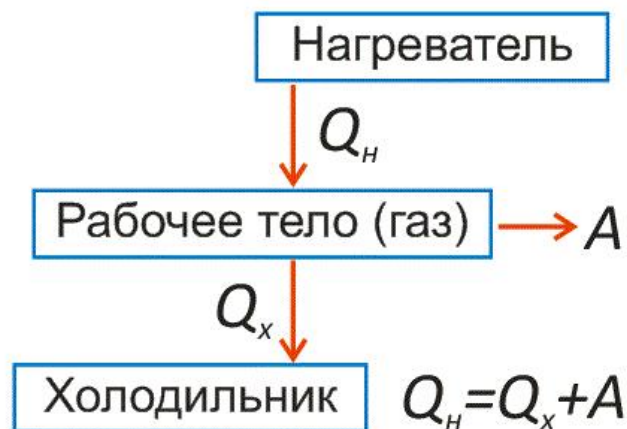


Рис. 4. Энергия нагревателя частично расходуется на совершение работы, оставшаяся часть теряется в окружающую среду

Посмотрев на рисунок 4, легко составить связь между энергией нагревателя, работой и энергией холодильника.

$$Q_H = Q_X + A$$

Q_H (Дж) – тепловая энергия, полученная от нагревателя;

Q_X (Дж) – тепловая энергия, переданная холодильнику;

A (Дж) – работа, которую совершил расширяющийся газ (пар);

Так как часть энергии теряется, работа всегда будет меньше полученной энергии. Работу и энергию измеряют в джоулях. Работа – это затраченная энергия, то есть, разница между конечной и начальной энергией.

$$Q_H - |Q_X| = A$$

Примечание: Полученная энергия берётся со знаком «плюс», а утерянная – со знаком «минус». Нам уже известно, что энергия Q_X , переданная холодильнику и утерянная, будет отрицательной. Запишем ее по модулю, чтобы не учитывать в формуле ее знак.

Формулы коэффициента полезного действия

Мы уже выяснили, что работа газа всегда меньше полученной теплоты. Чтобы ответить на вопрос, какую часть от полученной теплоты будет составлять работа, составим дробь:

$$A/Q_H$$

A (Дж) – работа газа;

Эту дробь обозначают греческой буквой «эта» η и называют коэффициентом полезного действия (КПД). Так как этот коэффициент даёт понятие о том, как соотносятся работа, совершенная газом и, полученная им тепловая энергия.

$$\eta = A/Q_H$$

Числитель этой дроби всегда меньше знаменателя, математики такие дроби называют правильными. Если КПД теплового двигателя описывается правильной дробью, значит, он не может превышать единицу (рис. 5).



Рис. 5. КПД отвечает на вопрос: какая часть полученной энергии тратится на полезную работу

КПД теплового двигателя не превышает единицу, так как описывается правильной дробью.

Если подставить в числитель выражение для работы, получим развёрнутое выражение для вычисления КПД:

$$\eta = (Q_H - |Q_X|) / Q_H$$

Правая часть уравнения – это две дроби, имеющие одинаковые знаменатели. Если записать правую часть в виде отдельных дробей, то можно получить такое соотношение:

$$(Q_H - |Q_X|) / Q_H = Q_H / Q_H - |Q_X| / Q_H = (1 - |Q_X|) / Q_H$$

Подставим его в выражение для КПД и получим еще одну формулу:

$$\eta = (1 - |Q_X|) / Q_H$$

Какой максимальный КПД может иметь тепловой двигатель

Талантливый французский учёный и инженер Сади Карно в 1824 году придумал идеальную тепловую машину. В качестве рабочего тела в ней выступал идеальный газ. А сосуд, в который заключён газ, обернут теплоизоляцией, которую можно мысленно снять, когда возникнет такая необходимость.

Проведя мысленный эксперимент, Карно рассчитал, какую часть полученной энергии можно превратить в полезную работу при идеальных условиях. Другими словами, он рассчитал, какой максимально возможный КПД может иметь идеальный тепловой двигатель.

Для КПД идеального двигателя он получил такую формулу:

$$\eta = (T_H - T_X) / T_H = (1 - T_X) / T_H$$

$T_H(K)$ – температура нагревателя в градусах Кельвина;

$T_X(K)$ – температура холодильника в градусах Кельвина;

Из формулы следует:

Чем больше различаются температуры нагревателя и холодильника, тем выше будет КПД.

Если температура нагревателя сравняется с температурой холодильника, то полезной работы машина не совершит $\eta = 0$.

Максимальный КПД даже для идеального теплового двигателя всегда меньше единицы.

Температура холодильника не может равняться абсолютному нулю, так как достигнуть абсолютного нуля температуры не получается.

Примечание: В идеальном двигателе нет потерь энергии, так как полностью отсутствует трение между его движущимися частями. В реальных двигателях трение есть, поэтому КПД реальных двигателей всегда ниже, чем КПД идеального двигателя.

КПД реальных тепловых двигателей

КПД лучших образцов реальных двигателей, выпускаемых мировой промышленностью:

- ✓ паровых машин — менее 10 процентов.
- ✓ большинства двигателей внутреннего сгорания – до 30 процентов.
- ✓ газовых турбин — примерно 40 процентов.
- ✓ двигателя внутреннего сгорания Дизеля – около 44 процентов.

В настоящее время инженеры и учёные-физики работают над тем, чтобы в реальных двигателях уменьшить **трение** и потери тепловой энергии. Чтобы повысить **давление** в цилиндре, применяют дополнительные компрессоры и турбины. Это даёт выигрыш еще в несколько процентов полезности, однако, сокращает срок службы таких двигателей.

Так называемые «атмосферники» — атмосферные двигатели внутреннего сгорания, в которых не применяются дополнительные турбины и компрессоры, повышающие рабочее давление в цилиндрах, могут без капитального ремонта прослужить на автомобилях весьма длительное время.

Некоторые автомобили, оснащённые особо удачными конструкциями двигателей, успевали без капитального ремонта двигателя проехать до 1 миллиона километров. Из-за этого, такие конструкции двигателей получили в народе название «миллионники». К сожалению, ныне выпуск подобных двигателей резко сокращён, из экономических соображений.

Выводы

- ✓ В настоящее время изобретено много тепловых двигателей, имеющих различную конструкцию. Но любая тепловая машина всегда содержит нагреватель, холодильник и рабочее тело.
- ✓ Нагреватель нужен для того, чтобы сообщать тепловую энергию рабочему телу.
- ✓ В качестве рабочего тела используется горячий пар, или раскалённый газ. Рабочее тело полученную тепловую энергию делит на две части. За счет одной части газ расширяется и совершает работу. Вторую часть энергии передаётся холодильнику.
- ✓ Никакая тепловая машина не может работать без холодильника. Тепловая энергия, передаваемая холодильнику, рассеивается в окружающую среду и теряется безвозвратно. Даже КПД идеального теплового двигателя будет меньше единицы.
- ✓ Показатель полезного действия можно посчитать, взяв отношение совершенной работы A к полученному от нагревателя количеству теплоты Q .
- ✓ Реальные двигатели внутреннего сгорания, сконструированные инженером Дизелем, имеют максимальный КПД 44 процента. Это непревзойдённый на сегодняшний день показатель среди всех выпускаемых промышленностью тепловых машин, не оснащённых дополнительными компрессорами.