

Тема: ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

1. Понятие о внутренней энергии термодинамической системы
2. Первый закон термодинамики
3. Понятие об энтальпии
4. Понятие об энтропии.
5. Круговой термодинамический процесс. Полезная работа и теплота цикла. Термический КПД
6. Второй закон термодинамики. Условия работы теплового двигателя

1. ПОНЯТИЕ О ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Внутренняя энергия (U) – это энергия, соответствующая хаотическому движению микрочастиц (молекул).

В термодинамике изучают внутреннюю энергию, представляющую совокупную энергию поступательного и вращательного движения молекул, а также энергию межмолекулярного взаимодействия. Т.е. совокупную внутреннюю кинетическую и внутреннюю потенциальную энергии молекул соответственно.

На внутреннюю кинетическую энергию оказывает влияние степень нагрева тела или газа. Чем больше нагрев, тем интенсивнее движение микрочастиц. На внутреннюю потенциальную энергию оказывает влияние удельный объем газа, влияющий на расстояние между молекулами.

Таким образом, внутренняя энергия реального газа определяется его температурой и удельным объемом и является функцией состояния газа.

Изменить внутреннюю энергию тела или газа можно двумя способами:

1. Первый способ обусловлен совершением работы (L), т.е. силовым механическим воздействием одного тела на другое (трение, сжатие, удар).

2. Второй способ связан с наличием разности температур путем непосредственного соприкосновения тел или на расстоянии посредством электромагнитного излучения. Обмен энергии при этом обусловлен хаотически движущимися микрочастицами тел.

Количество тепловой энергии, переданной в форме хаотического движения микрочастиц называется количеством теплоты или теплотой (Q).

Согласно закону сохранения энергии не может быть уничтожена или создана, а может быть преобразована из одного вида в другой в различных физических и химических процессах.

2. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

В общем случае к телу или системе может быть подведено количество теплоты и данная система совершит некоторую механическую работу. За счет подведенной теплоты общая энергия (\mathcal{E}) возрастает, а за счет совершенной работы – уменьшается.

При этом изменение общей энергии тела равно:

$$\Delta \mathcal{E} = Q - L \quad (1)$$

Также изменение общей энергии тела можно представить в виде:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta E + \Delta U \quad (2)$$

где ΔE – изменение внешней энергии;

ΔU – изменение внутренней энергии.

В термодинамике изменением внешней энергии можно пренебречь, тогда формулу (1) можно записать в следующем виде:

$$\Delta U = Q - L \quad (3)$$

Или

$$Q = \Delta U + L \quad (4)$$

Для 1 кг газа:

$$q = \Delta u + l, \text{ Дж/кг} \quad (5)$$

Таким образом теплота Q , сообщенная телу расходуется на изменение его внутренней энергии ΔU и совершение работы L .

Теплота $Q(q)$, внутренняя энергия $U(u)$, работа $L(l)$ имеют одинаковую размерность, но физический смысл их различный:

- внутренняя энергия $U(u)$ представляет собой энергию, накопленную телом (системой).
- работа $L(l)$ и количество теплоты $Q(q)$ являются мерами изменения внутренней энергии системы.

Единицы измерения:

Q, L, U – Дж;

q, l, u – Дж/кг – удельные параметры.

Если продифференцировать уравнение (5), то получим первую форму записи I закона ТД:

$$dq = du + dl = du + p \cdot dv \quad (6)$$

« d » - знак дифференциала или взятие производной

Рассмотрим замкнутый круговой процесс изменения состояния рабочего газа.

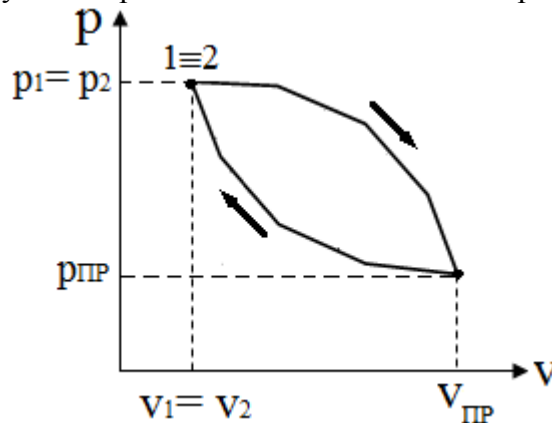


Рис. 1. Диаграмма кругового процесса

Для замкнутого кругового процесса уравнение (5) будет иметь вид:

$$\oint q = \oint u + \oint l \quad (7)$$

В круговом процессе начальные параметры рабочего тела (точка 1 на рис. 1) равны конечным параметрам (точка 2), поэтому внутренняя энергия конечного состояния u_2 равна внутренней энергии начального состояния u_1 . Значит изменение внутренней энергии равно нулю:

$$\Delta u = \oint u = u_2 - u_1 = 0 \quad (8)$$

Таким образом, в круговом процессе все затраченное тепло идет на совершение работы:

$$\oint q = \oint l \quad (9)$$

1-й закон термодинамики определяет условия преобразования теплоты в работу, он гласит: **рабочее тело не может совершить работы больше, чем было подведено теплоты.**

Тепловой двигатель, который работал бы вопреки 1-му закону ТД, называется **вечным двигателем 1 рода**.

3. ПОНЯТИЕ ОБ ЭНТАЛЬПИИ

Энтальпией H называется функция состояния термодинамической системы, равная сумме ее внутренней энергии U и произведения давления p на объем системы V :

$$H = U + p \cdot V, \text{ Дж} \quad (10)$$

Для системы, содержащей 1 кг рабочего тела, удельная энтальпия равна:

$$h = u + p \cdot v, \text{ Дж/кг} \quad (11)$$

Энтальпию также называют тепловой функцией и теплосодержанием — это термодинамический потенциал, характеризующий состояние системы в термодинамическом равновесии при выборе в качестве независимых переменных давления, энтропии и числа частиц.

Проще говоря, энтальпия — это та внутренняя энергия тела, которая доступна для преобразования в теплоту при определенном постоянном давлении.

Энтальпию часто используют в термодинамических и теплотехнических расчетах.

Величины, входящие в уравнения (10) и (11) — это функции состояния, и поэтому энтальпия — тоже является функцией состояния. Из чего следует, что изменение энтальпии в процессе не зависит от его характера, а определяется только начальным и конечным состояниями системы:

$$\Delta h = \int_1^2 dh = h_2 - h_1 \quad (12)$$

Если продифференцировать уравнение (11), то получим другую форму записи 1-го закона термодинамики:

$$dh = du + p \cdot dv + v \cdot dp = dq + v \cdot dp \quad (13)$$

4. ПОНЯТИЕ ОБ ЭНТРОПИИ

На простом языке энтропия означает «мера неорганизованности» или «мера беспорядка, хаоса». Обратной величиной энтропии является информация. Чем больше информации и организованности в системе - тем меньше ее энтропия.

Например, есть у нас горячий водяной пар. В нем происходит беспорядочное движение молекул (хаос), энтропия близка к 100 %. Охлаждаем пар, и из него выделяется энергия. Количество беспорядка хоть и не уменьшается, но зато уменьшается скорость движения молекул пара, и они получают меньше противодействия при столкновениях. При дальнейшем охлаждении увеличивается взаимное притяжение молекул, и они начинают соединяться в другую, более сложную структуру – жидкость. При переходе из пара в жидкость выделяется некоторое дополнительное количество энергии, большее, чем при простом охлаждении. Жидкость более организованная система, чем пар, поэтому энтропия у жидкости меньше чем у пара.

Если дальше продолжать охлаждать жидкость, то она превращается в лед, у которого энтропия еще меньше чем у жидкости, т.к. молекулы теряют подвижность и соединяются в другую более организованную структуру (кристаллическую решетку).

Из этого наблюдения можно вывести закон сохранения энтропии, она никуда не исчезает, она перераспределяется. Элементы, включаемые в систему, отдают свою энтропию элементам, выталкиваемым из системы. Если система закрытая, то выталкивать энтропию некуда, и она остается внутри системы, со временем равномерно распределяясь по всем элементам.

Математически энтропия представляет собой отношение изменения количества теплоты к абсолютной температуре:

$$\frac{dQ}{T} = dS \quad (14)$$

где T — термодинамическая (абсолютная) температура; S — энтропия, Дж/К

Для системы, включающей 1 кг рабочего тела получим:

$$\frac{dq}{T} = ds \quad (15)$$

где s — удельная энтропия, Дж/(кг·К).

На основании выражений (6), (13) и (15) можно вывести термодинамическое тождество:

$$\underbrace{T \cdot ds}_{=dq} = \underbrace{du + p \cdot dv}_{=dq} = \underbrace{dh - v \cdot dp}_{=dq} \quad (16)$$

5. КРУГОВОЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС. ПОЛЕЗНАЯ РАБОТА И ТЕПЛОТА ЦИКЛА. ТЕРМИЧЕСКИЙ КПД

В любом разомкнутом термодинамическом процессе при подводе теплоты и при увеличении объема совершается положительная работа L , которая равна:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1), \text{ Дж} \quad (17)$$

где V_1 и V_2 — соответственно начальный и конечный объемы рабочего тела.

Так как процесс расширения газа не может продолжаться бесконечно в каком-либо устройстве, следовательно, возможность преобразования теплоты в работу ограничена.

Непрерывное преобразование теплоты в работу осуществляется только в круговом процессе или цикле (рис. 1).

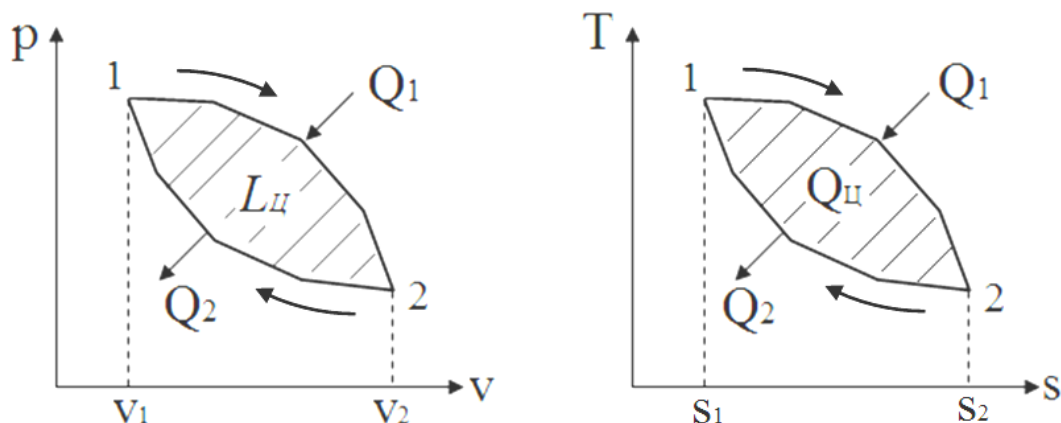


Рис. 1. Преобразование теплоты в работу в круговом процессе

Круговой процесс это процесс изменения состояния газа, параметры которого периодически изменяются, но в конечном итоге возвращаются в первоначальное состояние.

Цикл работает следующим образом: точки 1 до точки 2 (верхняя линия) происходит расширение рабочего тела при подводе теплоты Q_1 , при этом совершается положительная работа L_1 . Затем от точки 2 до точки 1 происходит сжатие рабочего тела, при этом совершается отрицательная работа L_2 и в окружающую среду отводится количество теплоты Q_2 .

Каждый элементарный процесс, входящий в цикл, осуществляется при подводе или отводе теплоты dQ , сопровождается совершением или затратой работы dL , увеличением или уменьшением внутренней энергии dU . При этом всегда выполняется условие:

$$dQ = dU + dL, \text{ Дж} \quad (18)$$

Без подвода теплоты, когда $dQ = 0$ внешняя работа может совершаться только за счет внутренней энергии системы dU .

Обозначим сумму положительных работ элементарных процессов цикла через L_1 , а сумму отрицательных работ - через L_2 .

Тогда полезная работа, совершенная рабочим телом в цикле будет равна:

$$L_{\text{ц}} = L_1 - L_2 \quad (19)$$

Обозначим сумму всей подведенной теплоты в цикле через Q_1 , а сумму отведенной теплоты – через Q_2 .

Тогда полезная теплота, превращенная в цикле в работу будет равна:

$$Q_{\text{ц}} = Q_1 - Q_2 = L_{\text{ц}} \quad (20)$$

Отношение полезно используемой теплоты $Q_{\text{ц}}$ к затраченной теплоте Q_1 называется термическим КПД цикла, который всегда меньше единицы:

$$\eta_T = \frac{Q_{\text{ц}}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1 \quad (21)$$

6. ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ. УСЛОВИЯ РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Естественные процессы всегда направлены в сторону достижения системой равновесного состояния (механического, термического или любого другого). Это явление отражено вторым законом термодинамики, имеющим большое значение и для анализа работы теплоэнергетических машин. В соответствии с этим законом, например, теплота самопроизвольно может переходить только от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой. Для осуществления обратного процесса должна быть затрачена определенная работа.

В связи с этим Клаузиус в 1850 г. сформулировал второй закон термодинамики: **невозможен процесс, при котором теплота переходила бы самопроизвольно от тел более холодных к телам более теплым** (постулат Клаузиуса).

II-й закон термодинамики, как и I-й, сформулирован на основе опыта.

Второй закон термодинамики также определяет условия, при которых теплота может, как угодно долго преобразовываться в работу, т.е. определяет условия работы теплового двигателя.

Особенностью работы теплового двигателя является то, что вся затраченная теплота Q_1 не может быть полностью превращена в работу, так как некоторое количество теплоты Q_2 обязательно передается холодному источнику (теплоприемнику).

Согласно 2-му закону термодинамики подвод теплоты Q_1 к рабочему телу возможен при наличии внешнего источника с температурой выше температуры рабочего тела. Такой источник теплоты называется горячим. Отвод теплоты Q_2 от рабочего тела также возможен при наличии

внешнего источника теплоты, но с температурой меньшей, чем температура рабочего тела. Такой источник теплоты называется холодным.

Таким образом, для совершения цикла теплового двигателя необходимо иметь два источника теплоты: один с высокой температурой, другой с низкой.

Т.о. для совершения работы теплового двигателя невозможно постоянно подводить теплоту к рабочему телу от горячего источника. А нужно периодически отводить тепло от рабочего тела к холодному приемнику, чтобы параметры состояния рабочего тела возвращались к исходным значениям.

Сформулируем условия работы теплового двигателя:

1. Необходимость двух источников теплоты - горячего и холодного;
2. Циклическая работа двигателя;
3. Передача части подведенной (затраченной) теплоты холодному источнику без превращения ее в работу.

На основе этого М. Планк предложил другую формулировку II закона ТД: **невозможно построить периодически действующую машину, все действие которой сводилось бы к поднятию некоторого груза и охлаждению теплового источника.**

Тепловую машину, которая действовала бы вопреки II-му закону ТД, В.Ф. Оствальд назвал **вечным двигателем второго рода** (в отличие от вечного двигателя первого рода, работающего вопреки закону сохранения энергии).

Если бы не существовало ограничений, накладываемых вторым законом термодинамики, то это означало бы, что возможно построить тепловой двигатель при наличии одного лишь источника теплоты. Такой двигатель мог бы действовать за счет охлаждения, например, воды в океане. Этот процесс мог бы продолжаться до тех пор, пока вся внутренняя энергия океана не была бы превращена в работу.

Следует заметить, что существование вечного двигателя второго рода не противоречит первому закону термодинамики; в самом деле, в этом двигателе работа производилась бы не из ничего, а за счет внутренней энергии, заключенной в тепловом источнике, так, что с количественной стороны процесс получения работы из теплоты в данном случае не был бы невыполнимым. Однако существование такого двигателя невозможно с точки зрения качественной стороны процесса перехода теплоты между телами.

Математическое выражение II-го закона ТД.

$$dq = ds \cdot T \qquad ds \geq \frac{dq}{T} \qquad ds \geq \int_1^2 \frac{dq}{T} \qquad (22)$$

Если ΔS будет равно данному интегралу, то процесс будет обратимым, а если будет больше, то процесс необратимый.