

Тема 2.2. Основы термодинамики

Содержание учебного занятия:

1. Внутренняя энергия.
2. Работа и теплопередача.
3. Количество теплоты.
4. Уравнение теплового баланса.
5. Первоначало термодинамики.
6. Адиабатный процесс.
7. Второе начало термодинамики.
8. Тепловые двигатели.
9. КПД теплового двигателя.
10. Охрана природы

1. Внутренняя энергия.

Наука о тепловых явлениях называется **термодинамикой**. Термодинамика исходит из наиболее общих закономерностей тепловых процессов и свойств макроскопических систем.

При изучении основ термодинамики необходимо помнить следующие определения. *Физическая система, состоящая из большого числа частиц — атомов или молекул, которые совершают тепловое движение и, взаимодействуя между собой, обмениваются энергиями, называется термодинамической системой.*

Состояние термодинамической системы определяется макроскопическими параметрами, например удельным объемом, давлением, температурой.

Термодинамика рассматривает изолированные системы тел, находящиеся в состоянии термодинамического равновесия. Это означает, что в таких системах прекратились все наблюдаемые макроскопические процессы. Важным свойством термодинамически равновесной системы является выравнивание температуры всех ее частей.

Термодинамика рассматривает только **равновесные состояния**, т.е. состояния, в которых параметры термодинамической системы не меняются со временем.

Если термодинамическая система была подвержена внешнему воздействию, то в итоге она перейдет в другое равновесное состояние. Такой переход называется термодинамическим процессом.

Термодинамическим процессом называется переход системы из начального состояния в конечное через последовательность промежуточных состояний.

Процессы бывают обратимыми и необратимыми.

Обратимым называется такой процесс, при котором возможен обратный переход системы из конечного состояния в начальное через те же промежуточные состояния, чтобы в окружающих телах не произошло никаких изменений. Обратимый процесс является физической абстракцией. Примером процесса, приближающегося к обратимому, является колебание тяжелого маятника на длинном подвесе. В этом случае кинетическая энергия практически полностью превращается в потенциальную, и наоборот. Колебания происходят долго без заметного уменьшения амплитуды ввиду малости сопротивления среды и сил трения.

Любой процесс, сопровождаемый трением или теплопередачей от нагретого тела к холодному, является **необратимым**. Примером необратимого процесса является расширение газа, даже идеального, в пустоту. Расширяясь, газ не преодолевает сопротивления среды, не совершает работы, но, для того чтобы вновь собрать все молекулы газа в прежний объем, т. е. привести газ в начальное состояние, необходимо затратить работу. Таким образом, *все реальные процессы являются необратимыми.*

Все процессы в природе — необратимые и сопровождаются диссипацией энергии. Примеры необратимых процессов:

- диффузия: если смешать тесто, то его невозможно будет разделить на ингредиенты;
- явления теплопроводности: если положить рядом два предмета, теплый и холодный, то теплый предмет будет нагревать холодный до тех пор, пока их температура не сравняется. Обратный процесс невозможен;
- процессы, сопровождающиеся трением между системой и окружающей средой; из-за трения происходит преобразование энергии: часть энергии системы превращается в тепловую и передается внешней среде.

Большое внимание уделяется обратимым процессам, так как их КПД значительно выше, чем КПД необратимых.

Изменение внутренней энергии газа в процессе теплообмена и совершаемой работы.



Сложив кинетическую и потенциальную энергию тела, получают его механическую энергию. Она определяется скоростью движения, а также положением тела относительно взаимодействующего с ним предмета. Тело может совершать работу, если оно обладает внутренней энергией. При этом ее запас уменьшается, а общее изменение равно значению работы.

Внутренняя энергия

Для наглядности можно взять банку с толстыми стенками, набрать в нее немного воды и накачать воздух. При этом пробка должна быть прочно закрыта. Когда воздуха в банке будет слишком много, его энергия позволит совершить ему работу — вытолкнуть крышку. Кинетическая и потенциальная энергии остались без изменений, в то же время температура воздуха понизилась, а, это значит, что внутреннее состояние изменилось. Таким образом, на совершение работы была израсходована не механическая энергия, а внутренняя.

Одним из важнейших понятий термодинамики является **внутренняя энергия** тела. Все макроскопические тела обладают энергией, заключенной внутри самих тел. С точки зрения молекулярно-кинетической теории **внутренняя энергия вещества складывается из кинетической энергии всех атомов и молекул и потенциальной энергии их взаимодействия друг с другом.**

Внутренняя энергия – это сумма энергий молекулярных взаимодействий и энергии теплового движения молекул. E_k – энергия частиц, находящихся в движении E_p характеризует взаимодействия.

Пример 1.

Хоккеист ударяет кружкой шайбу, и она движется по льду. Её кинетическая энергия возрастает. В момент остановки, напротив, E_k снижается до нуля. Поскольку взаимодействие шайбы со льдом в этот момент также практически не происходит (форма шайбы не меняется), то $E_p = 0$. Исчезают ли оба вида энергии бесследно? Физика отвечает на этот вопрос так: механическая энергия переходит в новую форму – внутреннюю энергию взаимодействующих предметов – в данном примере шайбы и льда.

Внутренняя энергия, обуславливаемая движением частиц, даже при незначительных температурах тела всегда в нем присутствует. Ее всегда можно каким-то способом увеличить или уменьшить. Однако величина энергии каждой частицы незначительна.

Так, при своём поступательном движении, например, в кислороде, молекулы имеют среднюю энергию в размере $6 \cdot 10^{-21}$ Дж.

В частности, внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических энергий всех частиц газа, находящихся в непрерывном и беспорядочном тепловом движении. **Внутренняя энергия идеального газа зависит только от его температуры и не зависит от объема** (закон Джоуля).

Молекулярно-кинетическая теория приводит к следующему выражению для **внутренней энергии одного моля идеального одноатомного газа** (гелий, неон и др.), молекулы которого совершают только поступательное движение:

Следует рассмотреть два варианта: одноатомный газ и многоатомный.

При одноатомной структуре кинетическая составляющая определяется поступательным движением частиц, а кинетическая находится в зависимости от температуры и высчитывается по формуле:

$$E_0 = \frac{3}{2} kT$$

Если газ имеет многоатомное строение, величина его внутренней энергии будет определяться числом атомов в молекуле. При этом учитывается не только поступательное, но и вращательное движение молекул. Учет проводится по закону равнораспределения энергии по степеням.

Свойства, составные части величины

Рассмотренные выше примеры позволяют сделать вывод, что свойства внутренней энергии тела определяются движением и качеством взаимодействия частиц, составляющих его структуру.



Из схемы понятно, что внутреннюю энергию определяют процессы:

- тепловое (хаотическое) движение атомов, молекул, ионов (их кинетическая энергия);
- взаимодействие частиц между собой (их потенциальная энергия).

Кроме этого, в отдельных случаях могут присутствовать процессы взаимодействия вышеназванных частиц между собой (образуется химическая энергия).

Для полного учета необходимо прибавить и внутриатомную энергию: взаимодействие электронов с ядром и нуклонов внутри него.

Процессы термодинамики подчеркивают, что изменения внутриатомной и внутриаомной, как и энергии химии, незначительны. Поэтому в задачах по изменению внутренней энергии тел учитываются реальные кинетическая и потенциальная энергии, точнее, их сумма.

Внутреннюю энергию, для обозначения которой введена буква **U**, измеряют в специальных единицах — **Джоулях** (для системы СИ).

В идеальном газе взаимодействия атомов и молекул между собой практически не происходит. Поэтому их **U** остается равной **E_к** их вращения и поступательного движения. Из этого следует, что внутренняя энергия идеального газа зависит от температуры. Для доказательства этого утверждения рассмотрим простой пример.

Пример 2.

Частицы одноатомного газа поступательно движутся, поэтому их внутренняя энергия рассчитывается по формуле:

$$U = \frac{3m}{2M} RT$$

С другой стороны, $pT = RT \cdot m/M$

Поэтому:

$$U = \frac{3}{2} pV$$

Поскольку потенциальная энергия взаимодействия молекул зависит от расстояния между ними, в общем случае внутренняя энергия

$$U = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT$$

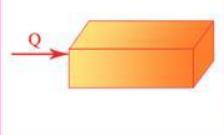
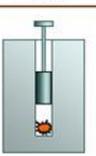
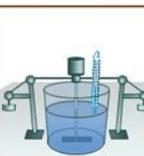
U тела зависит наряду с температурой **T** также и от объема **V**: $U = U(T, V)$.

Таким образом, внутренняя энергия системы зависит только от её состояния и является однозначной функцией состояния **внутренняя энергия U** тела однозначно определяется **макроскопическими параметрами** (плотность, объём, температура), **характеризующими состояние тела**. Она не зависит от того, каким путем было реализовано данное состояние. При переходе вещества из одного состояния в другое внутренняя энергия изменяется энергия, независимо от способа этого перехода.

2. Работа и теплопередача.

Внутреннюю энергию тела можно изменить разными способами:

1. *Теплообмен.*
2. *Совершение механической работы.*

Теплопередача		
Теплопроводность	Конвекция	Излучение
		
Механическая работа (деформация)		
Изменение формы: сгибание подковы	Изменение объема: всплывание ваты при сжатии воздуха	Трение: опыт Джоуля
		

Внутренняя энергия тела может изменяться, если действующие на него внешние силы совершают работу (положительную или отрицательную).

Например, газ подвергается сжатию в цилиндре под поршнем площадью S . Поршень, сжимая газ, движется с некоторой скоростью v . Молекулы газа, беспорядочно двигаясь, ударяются о поршень. После упругого удара молекулы о поршень скорость молекулы возрастает, а значит возрастает и её кинетическая энергия, что приводит к увеличению внутренней энергии газа.

При сжатии газа его внутренняя энергия увеличивается за счет совершения поршнем механической работы. При расширении газа его внутренняя энергия уменьшается, превращаясь в механическую энергию поршня.

При сжатии газа внешние силы совершают над газом некоторую положительную работу A' .

В то же время силы давления, действующие со стороны газа на поршень, совершают работу

$$A = -A'$$

Если объем газа изменился на малую величину ΔV , то газ совершает работу $pS\Delta x = p\Delta V$, где p – давление газа, S – площадь поршня, Δx – его перемещение.

При расширении работа, совершаемая газом, положительна, при сжатии – отрицательна.

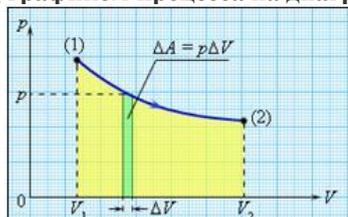
В общем случае при переходе из некоторого начального состояния (1) в конечное состояние (2) **работа газа** выражается формулой:

$$A = \sum p_i \Delta V_i$$

или в пределе при $\Delta V_i \rightarrow 0$:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Работа численно равна площади под графиком процесса на диаграмме (p, V):



Величина работы зависит от того, каким путем совершался переход из начального состояния в конечное. На рис. 2 изображены три различных процесса, переводящих газ из состояния (1) в состояние (2). Во всех трех случаях газ совершает различную работу.

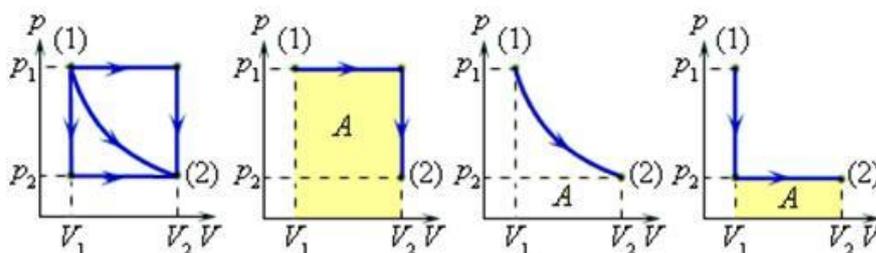


Рисунок 2.

Три различных пути перехода из состояния (1) в состояние (2).

Во всех трех случаях газ совершает разную работу, равную площади под графиком процесса.

Процессы, изображенные на рис. 2, можно провести и в обратном направлении; тогда работа A просто изменит знак на противоположный.

Процессы которые можно проводить в обоих направлениях, называются обратимыми.

В отличие от газа, жидкости и твердые тела мало изменяют свой объем, так что во многих случаях работой, совершаемой при расширении или сжатии, можно пренебречь. Однако, внутренняя энергия жидких и твердых тел также может изменяться в результате совершения работы. При механической обработке деталей (например, при сверлении) они нагреваются. Это означает, что изменяется их внутренняя энергия.

Внутренняя энергия тела может изменяться не только в результате совершаемой работы, но и вследствие теплообмена.

При тепловом контакте тел внутренняя энергия одного из них может увеличиваться, а внутренняя энергия другого – уменьшаться. В этом случае говорят о тепловом потоке от одного тела к другому. Передача энергии от одного тела другому в форме тепла может происходить только при наличии разности температур между ними.

Приведем в соприкосновение два тела с разными температурами. Пусть температура первого тела выше, чем второго. В результате обмена энергиями температура первого тела уменьшается, а второго — увеличивается. В рассматриваемом примере кинетическая энергия хаотического движения молекул первого тела переходит в кинетическую энергию хаотического движения молекул второго тела.

Тепловой поток всегда направлен от горячего тела к холодному.

Процесс передачи внутренней энергии без совершения механической работы называется теплообменом.

3. Количество теплоты.

Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы. Он формулируется следующим образом:

Изменение ΔU внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты Q , переданной системе, и работой A , совершенной системой над внешними телами.

$$\Delta U = Q - A.$$

Соотношение, выражающее первый закон термодинамики, часто записывают в другой форме:

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

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

Первый закон термодинамики является обобщением опытных фактов. Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Если между телами, составляющими замкнутую систему, действуют силы трения, то часть механической энергии превращается во внутреннюю энергию тел (нагревание).

При любых физических взаимодействиях энергия не возникает и не исчезает. Она лишь превращается из одной формы в другую. Этот экспериментально установленный факт выражает фундаментальный закон природы – **закон сохранения и превращения энергии**.

4. Уравнение теплового баланса.

Мерой энергии, получаемой или отдаваемой телом в процессе теплообмена, служит физическая величина, называемая **количеством теплоты**.

Количеством теплоты Q , полученной телом, называют изменение внутренней энергии тела в результате теплообмена.

Количество теплоты Q является энергетической величиной. В СИ количество теплоты измеряется в единицах механической работы – **джоулях (Дж)**.

До введения СИ количество теплоты выражали в калориях.

Калория — это количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г дистиллированной воды на 1°C, от 19,5°C до 20,5°C.

Единица, в 1000 раз большая калории, называется килокалорией (1 ккал = 1000 кал). Соотношение между единицами: 1 кал = 4,19 Дж.

Если в результате теплообмена телу передается некоторое количество теплоты, то внутренняя энергия тела и его температура изменяются.

Чтобы нагреть тело массой m от температуры t_1 до температуры t_2 ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

Количество теплоты Q , необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К называют удельной теплоемкостью вещества c .

$$c = Q / (m\Delta T).$$

Во многих случаях удобно использовать *молярную теплоемкость* C :

$C = M \cdot c$, где M – молярная масса вещества.

При передаче тепла от одного тела к другому всегда выполняется **уравнение теплового баланса**, по которому количество теплоты Q_1 , отданное первым телом, равно количеству теплоты Q_2 , полученному вторым телом.

$$Q_1 = Q_2$$

Теплота и работа являются не видом энергии, а формой ее передачи, они существуют лишь в процессе передачи энергии.

В реальных условиях оба способа передачи энергии системе в форме работы и форме теплоты обычно сопутствуют друг другу.

5. Первое начало термодинамики.

На рисунке изображены энергетические потоки между термодинамической системой и окружающими телами. в результате теплообмена и совершаемой работы:



Величина $Q > 0$, если тепловой поток направлен в сторону термодинамической системы. Величина $A > 0$, если система совершает положительную работу над окружающими телами.

Если система обменивается теплом с окружающими телами и совершает работу (положительную или отрицательную), то изменяется состояние системы, то есть изменяются ее макроскопические параметры (температура, давление, объем).

Процессы теплообмена и совершения работы сопровождаются изменением ΔU внутренней энергии системы.

6. Адиабатный процесс.

Адиабатический процесс – это процесс, в котором изменение тепловой энергии газа происходит без теплообмена с окружающей средой.

В этом процессе $Q=0$, поэтому $A=-\Delta U$, то есть работа газа равна убыли внутренней энергии газа.

В таком процессе газ совершает работу или поглощает энергию без обмена теплом с окружающей средой. Адиабатические процессы широко применяются в различных областях, таких как газовая динамика, аэродинамика, тепловые и холодильные установки.

Адиабатическое сжатие газа

Адиабатическое сжатие газа – это процесс, при котором объем газа уменьшается без теплообмена с окружающей средой. В результате сжатия газа происходит увеличение его давления и температуры.

При адиабатическом сжатии газа выполняется следующее соотношение:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$$

где P_1 и V_1 – начальное давление и объем газа, P_2 и V_2 – конечное давление и объем газа, γ – показатель адиабаты.

Из этого соотношения можно выразить изменение температуры газа:

$$T_2 = T_1 \cdot (P_2 / P_1)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

где T_1 и T_2 – начальная и конечная температура газа.

Адиабатическое расширение газа

Адиабатическое расширение газа – это процесс, при котором объем газа увеличивается без теплообмена с окружающей средой. В результате расширения газа происходит уменьшение его давления и температуры.

При адиабатическом расширении газа также выполняется соотношение:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$$

где P_1 и V_1 – начальное давление и объем газа, P_2 и V_2 – конечное давление и объем газа, γ – показатель адиабаты.

Из этого соотношения можно выразить изменение температуры газа:

$$T_2 = T_1 \cdot (P_2 / P_1)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

где T_1 и T_2 – начальная и конечная температура газа.

Применение адиабатического процесса в практических задачах, например, в двигателях внутреннего сгорания

Адиабатический процесс широко применяется в практических задачах, особенно в двигателях внутреннего сгорания. В двигателях внутреннего сгорания происходит сжатие и расширение рабочего газа, и адиабатический процесс используется для оптимизации работы двигателя.

Во время сжатия газа в цилиндре двигателя происходит увеличение давления и температуры. Затем, при воспламенении топлива, происходит сгорание, что приводит к резкому увеличению давления и температуры газа. При расширении газа в цилиндре происходит преобразование энергии горящего топлива в механическую работу.

Оптимальное проектирование двигателя включает в себя учет адиабатического процесса, чтобы достичь наилучшей эффективности и мощности двигателя.

Расчеты и формулы, связанные с адиабатическим процессом

При изучении адиабатического процесса важно уметь проводить расчеты и использовать соответствующие формулы. Ниже приведены основные расчетные формулы, связанные с адиабатическим процессом.

Показатель адиабаты и его значение для различных веществ

Показатель адиабаты (γ) – это величина, которая характеризует способность вещества изменять свою температуру при адиабатическом процессе. Значение показателя адиабаты зависит от типа вещества и может быть разным для различных газов и жидкостей.

Некоторые значения показателя адиабаты для различных веществ:

- Для идеального одноатомного газа, такого как гелий: $\gamma = 5/3$
- Для идеального двухатомного газа, такого как азот или кислород: $\gamma = 7/5$
- Для идеального трехатомного газа, такого как углекислый газ: $\gamma = 4/3$

Формула Пуассона для адиабатного процесса

Формула Пуассона – это математическое соотношение, которое связывает давление, объем и температуру газа при адиабатическом процессе. Формула Пуассона имеет следующий вид:

$$P_1 * V_1^\gamma = P_2 * V_2^\gamma$$

где P_1 и V_1 – начальное давление и объем газа, P_2 и V_2 – конечное давление и объем газа, γ – показатель адиабаты.

Профили давления и температуры при адиабатическом процессе

При адиабатическом процессе происходят изменения давления и температуры газа. В зависимости от условий процесса, профили давления и температуры могут иметь различные формы.

Например, при адиабатическом сжатии газа профиль давления будет возрастать, а профиль температуры будет увеличиваться. При адиабатическом расширении газа профиль давления будет убывать, а профиль температуры будет уменьшаться.

Знание профилей давления и температуры позволяет более точно оценить изменения параметров газа в процессе адиабатического процесса и применить соответствующие расчетные формулы.

Практическое применение адиабатического процесса

Адиабатический процесс имеет широкое практическое применение в различных областях науки и техники. Ниже рассмотрены некоторые примеры использования адиабатического процесса.

Применение в газовой динамике и аэродинамике

Адиабатический процесс играет важную роль в газовой динамике и аэродинамике, где изучаются движение газов и воздуха. Например, при расчете работы и эффективности двигателей, таких как реактивные двигатели или поршневые двигатели внутреннего сгорания, используются адиабатические процессы сжатия и расширения газа. Знание адиабатических процессов позволяет оптимизировать работу двигателей и повысить их эффективность.

Роль адиабатического процесса в образовании облаков и грозовых явлений

Адиабатический процесс также играет важную роль в образовании облаков и грозовых явлений. Когда влажный воздух поднимается в атмосфере, он расширяется и охлаждается адиабатически. Это приводит к конденсации водяного пара и образованию облаков. Если адиабатическое охлаждение достаточно интенсивное, то может возникнуть грозовая активность.

Использование адиабатического процесса в повышении эффективности тепловых и холодильных установок

Адиабатический процесс также находит применение в тепловых и холодильных установках. Например, в цикле Брэгтона, который используется в газовых турбинах, происходит адиабатическое сжатие и адиабатическое расширение рабочего газа. Это позволяет повысить эффективность работы газовой турбины. Адиабатический процесс также используется в холодильных установках для создания низких температур. Все эти примеры демонстрируют практическую значимость адиабатического процесса и его важность в различных областях науки и техники.

7. Второе начало термодинамики.

Второй закон или второе начало термодинамики — фундаментальный природный закон, который охватывает многочисленные явления окружающего мира.

Невозможен процесс, единственным результатом которого является превращение всей теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную ей работу (Уильям Кельвин).

Невозможен вечный двигатель второго рода (формулировка Кельвина-Планка).

Невозможен процесс, единственным результатом которого является передача энергии в форме теплоты от холодного тела к горячему (Рудольф Клаузиус).

Энтропия замкнутой системы при любых происходящих в ней процессах может возрастать или оставаться неизменной, но не может убывать.

Статистическое объяснение второго закона термодинамики

Автор вероятностного или статистического объяснения — австрийский физик-теоретик Людвиг Больцман. Упрощенно оно выглядит так:

Если увеличить объем цилиндра с газом, то молекулы газа быстро заполнят весь объем. Газ больше не соберется в одной половине цилиндра самопроизвольно, потому что из всех возможных комбинаций расположения молекул вероятность именно такого ничтожно мала.

Понятие энтропии

Энтропия является функцией состояния. Ее физический смысл — мера беспорядка в системе: чем больше энтропия, тем больше беспорядок.

Обозначается буквой S и измеряется в Дж/К или энтропийных единицах (э.е.).

Энтропия определяет направление самопроизвольного процесса. В изолированной системе самопроизвольно происходят только те процессы, которые ведут к увеличению энтропии (необратимые), то есть $\Delta S > 0$. Если в системе идут равновесные процессы (обратимые), то энтропия не меняется, $\Delta S = 0$. В равновесных системах энтропия максимальна.

Если термодинамическая система переходит из одного состояния в другое, то изменение в энтропии системы рассчитывают по следующей формуле:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

где, ΔS – изменение энтропии;

ΔQ – количество теплоты, полученной системой;

T – температура.

Энтропию каждого из состояний системы можно рассчитать по формуле Больцмана:

$$S = k \ln W$$

где, S – энтропия системы в определенном состоянии;

k – постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

W – количество микросостояний, которыми реализуется данное макросостояние системы

Энтропия при обратимых процессах в замкнутой системе

Определение 3

Замкнутой с точки зрения термодинамики является система, которая изолирована от внешних источников теплоты, как отдающих ей, так и поглощающих ее тепло.

Если в замкнутой системе происходит обратимый процесс, то изменение энтропии равно нулю, так как

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}, \text{ а } \Delta Q \text{ такой системы равно нулю.}$$

При этом как внешние по отношению к системе тела могут совершать над ней работу, так и система может совершать работу над ними. Если включить эти тела в систему, то изменения в энтропии такой системы также будут равны нулю. Это происходит, потому что изменения в системе не сопровождаются изменением энтропии: система изначально не обменивалась теплотой с новыми частями, которые влияли на нее лишь механически.

Доказательство:

Пусть тело, которое может расширяться или сжиматься, обменивается теплом с источниками теплоты: оно передает теплоту одному телу или получает теплоту от другого. Пусть также тело совершает работу над третьим телом или третье тело само совершает работу над ним (источник работы).

Рассмотрим изолированную систему из данного тела, источников теплоты и источников работы. Пусть в системе идут обратимые процессы: состояние тела обратимо изменяется из-за обмена теплотой с источниками теплоты и из-за работы, совершаемой источниками работы или над ними.

Совершение работы любого знака не ведёт к изменению энтропии. Энтропия может меняться только при обмене теплотой между телом источником теплоты. Если тело получило от источника теплоту, равную

$\Delta Q_{\text{тела}}$, то его энтропия изменится на

$$\frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{T_{\text{тела}}}, \text{ где } T_{\text{тела}} \text{ - температура тела.}$$

При этом источник теплоты теряет это количество теплоты. Пусть количество потерянной теплоты будет $\Delta Q_{\text{ист}} \Delta Q_{\text{тела}} = - \Delta Q_{\text{ист}}$

Энтропия источника изменится на $\frac{\Delta Q_{\text{ист}}}{T_{\text{ист}}}$, $T_{\text{ист}}$ - температура источника.

Происходящий процесс обмена теплотой является обратимым, при этом $T_{\text{тела}} = T_{\text{ист}}$. Если бы температура тела и источника теплоты не были равны, то происходил бы необратимый процесс теплопроводности.

$$\text{Поэтому } \frac{\Delta Q_{\text{тела}}}{T_{\text{тела}}} = \frac{\Delta Q_{\text{ист}}}{\Delta Q_{\text{ист}}} \cdot \Delta S_{\text{тела}} = -\Delta S_{\text{ист}}$$

Пусть изменения энтропии всей замкнутой системы будет ΔS . $\Delta S = \Delta S_{\text{тела}} + \Delta S_{\text{ист}} = 0$. Это значит, что энтропия замкнутой системы не изменяется при любом обратимом процессе.

8. Тепловые двигатели.

Тепловой двигатель — это устройство, преобразующее тепловую энергию в механическую работу.

Принцип действия теплового двигателя: нагревающийся газ в двигателе расширяется, давит на поршень или лопасти турбины и тем самым производит механическую работу.

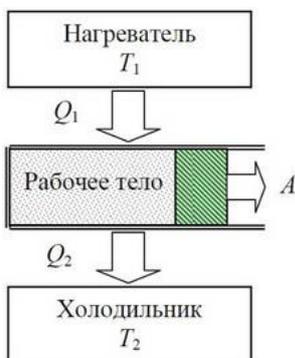
Тепловой двигатель — устройство, в котором энергия, запасённая в топливе, превращается в механическую. Уголь и другие полезные ископаемые в процессе горения в двигателях выделяют тепло, поэтому двигатели обычно называют *тепловыми*.

Структурная схема работы теплового двигателя

Строение всех тепловых двигателей практически одинаково (рис. 1). Основными структурными частями теплового двигателя являются нагреватель, рабочее тело (газ или пар) и холодильник. Нагреватель необходим для создания разности давлений в различных частях двигателя. Рабочее тело (обычно газ) приводит в движение поршни в цилиндрах машины. Это движение можно передать подвижным частям механизма.

1. **Нагреватель** — устройство или процесс, передающий теплоту рабочему телу. Обычно нагревателем является сгорающее топливо.
2. **Рабочее тело** — газ, который нагревается и, расширяясь, выполняет работу.
3. **Холодильник** — охлаждает рабочее тело до исходной температуры. В качестве холодильника может использоваться как специальное устройство, так и окружающая среда.

Нагреватель в процессе сгорания нагревается до температуры T_1 и передаёт рабочему телу количество теплоты Q_1 . Рабочее тело совершает работу A . Часть теплоты Q_2 передаётся холодильнику, при этом рабочее тело приводится в исходное состояние.



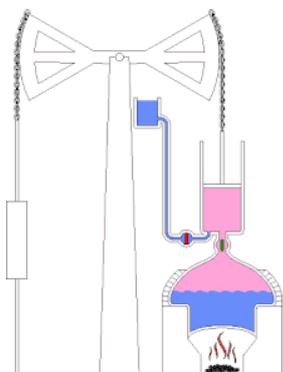
Если воспользоваться законом сохранения энергии, то работу двигателя можно определить как $A = Q_1 - Q_2$ где A – полезная работа, выполненная двигателем;

Q_1 - количество теплоты, переданное рабочему телу от нагревателя;

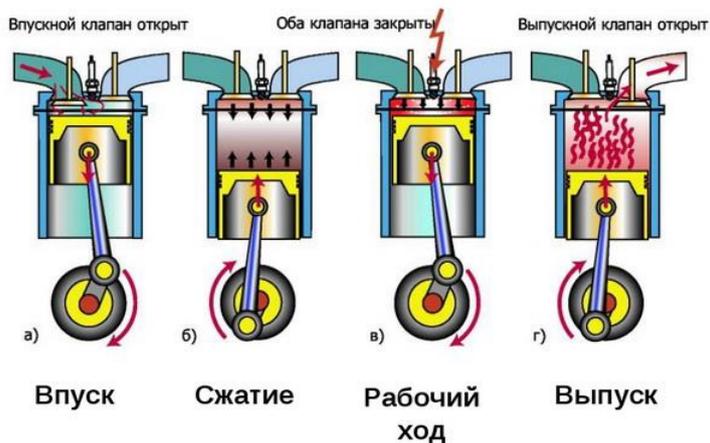
Q_2 – количество теплоты, переданное холодильнику рабочим телом

Виды тепловых двигателей

Двигатель внешнего сгорания — устройство, использующее теплоту внешних по отношению к рабочему телу источников. Очень распространены в промышленности. Такими двигателями оборудованы тепловые и атомные электростанции, раньше они использовались на паровозах и пароходах. В современном транспорте двигатели внешнего сгорания уже не устанавливают.



Двигатель внутреннего сгорания использует теплоту, полученную при сгорании топлива внутри двигателя. Конструкция таких двигателей сложнее и изобрели их позже, чем двигатели внешнего сгорания. Применяются в основном на транспорте. Поршневые двигатели автомобилей, реактивные авиационные двигатели, газовые турбины, ракетные двигатели — это двигатели внутреннего сгорания. Ракетный химический двигатель может работать в безвоздушном пространстве.



Невозможно превратить всю энергию топлива в механическую работу. Но если изменить конструкцию двигателя, можно сделать его работу экономичной. Эффективность двигателя можно определить, рассчитав его коэффициент полезного действия.

9. КПД теплового двигателя.

КПД тепловых машин

КПД (коэффициент полезного действия) — физическая величина, показывающая часть полученного количества теплоты, которая идёт на выполнение полезной работы.

Рассчитать КПД можно следующим образом:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100 \%$$

или

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100 \%$$

где η – коэффициент полезного действия в виде дроби.

Q_1 - количество теплоты, переданное рабочему телу от нагревателя;

Q_2 – количество теплоты, переданное холодильнику рабочим телом

Чтобы получить значение КПД в процентах, нужно полученное дробное число умножить на 100.

Все двигатели имеют КПД меньше 100%, так как не вся тепловая энергия преобразуется в механическую.

Тепловые двигатели дают коэффициент полезного действия от 40 до 60%.

При сгорании топлива выделяется энергия.



Она передаётся газу и жидкости и увеличивает при этом внутреннюю энергию. Газ или жидкость расширяясь, совершает работу и при этом охлаждается. Часть внутренней энергии переходит в механическую, что приводит в движение какой-нибудь механизм.





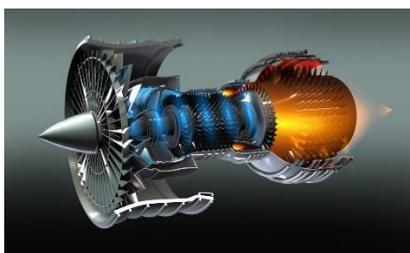
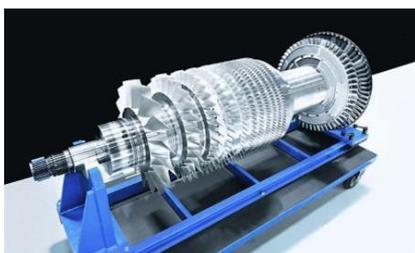
Изобретение теплового двигателя принадлежит Дж. Уатту (конец XVII в.).

Тип теплового двигателя	η (в %)
Паровая машина	1
Двигатель паровоза	7-9
Карбюраторный двигатель	20-30
Газовая турбина	35-40
Ракетный двигатель	47

Паровая машин, двигатель внутреннего сгорания



Паровая и газовая турбины, реактивный двигатель.



Тепловые двигатели работают по циклу, так как газ не может беспредельно расширяться (устройство имеет конечные размеры). После расширения газ не выбрасывается, сжимается новая порция.

Задача

Дано: двигатель автомобиля выполнил работу $A = 110,4 \cdot 10^6$ Дж, и для этого потребовалось 8 кг. Бензина. Удельная теплота сгорания бензина $g = 4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг.

Найти: КПД двигателя.

Решение: воспользуемся формулой $\eta = \frac{A}{Q} \cdot Q = gm = 4,6 \cdot \frac{10^6 \text{ Дж}}{\text{кг}} \cdot 8 \text{ кг} = 368 \cdot 10^6$ Дж.

$$\eta = \frac{110 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{368 \cdot 10^6 \text{ Дж}} = \frac{3}{10}$$

Ответ: КПД двигателя 30%

XXI век — век новых технологий. Можно считать, что тепловозы и автомобили с бензиновыми двигателями жутко устарели. Но если посмотреть на это по-другому, мы увидим, что даже старейшая паровая машина — это очень современное изобретение.

Люди используют различные устройства, помогающие выполнять работу, около 2,5 миллионов лет, но только 300 последних лет затрачены на создание и усовершенствование машин, работающих без участия

человека. Таким образом, 99,9% времени человечество существовало на Земле без машин и тепловых двигателей.

Теперь у нас есть множество механизмов, без которых мы уже не обходимся. Сложно представить современный мир без автомобилей, самолётов, кораблей и поездов — все они работают только при помощи мощных тепловых двигателей.

10. Охрана природы

Неуклонный рост энергетических мощностей, все большее распространение укрощенного огня — в топках и котлах тепловых электростанций, фабрик и заводов, котельных городов и сел, в двигателях внутреннего сгорания, в ракетах и авиационных двигателях — приводит к тому, что количество выделяемой теплоты становится сопоставимым с другими компонентами теплового баланса в атмосфере. Это не может не приводить к повышению средней температуры на Земле. Сейчас мощность двигателей составляет примерно 1010 кВт. Когда эта мощность достигнет $3 \cdot 10^{12}$ кВт, то средняя температура атмосферы Земли повысится примерно на 1 °С. Дальнейшее повышение температуры может создать угрозу таяния ледников и катастрофического повышения уровня Мирового океана. Но этим далеко не исчерпываются негативные последствия применения тепловых двигателей. Растет выброс в атмосферу микроскопических частиц — сажи, пепла, измельченного топлива. Они изменяют оптические свойства атмосферы, соотношение между поглощенной и отраженной солнечной энергией, увеличивают «парниковый эффект», обусловленный повышением концентрации углекислого газа в течение длительного промежутка времени. Углекислый газ задерживает тепловое излучение Земли, что приводит к повышению температуры атмосферы.

Выбрасываемые в атмосферу токсические продукты горения: оксиды серы, азота, металлов, угарный газ (СО), канцерогенные вещества — продукты неполного сгорания органических топлив — оказывают вредное воздействие на флору и фауну. Особую опасность в этом отношении представляют автомобили, число которых угрожающе растет, а очистка отработанных газов затруднена.

Все это ставит ряд серьезных проблем перед обществом. Наряду с важнейшей задачей повышения КПД тепловых двигателей требуется проводить ряд мероприятий по охране окружающей среды. Необходимо повышать эффективность сооружений, препятствующих выбросу в атмосферу вредных веществ; добиваться более полного сгорания топлива в автомобильных двигателях. Уже сейчас не допускаются к эксплуатации автомобили с повышенным содержанием СО в отработанных газах. Осуществляется перевод автомобильных двигателей на сжиженный газ в качестве топлива. Обсуждается возможность применения в качестве топлива водорода, в результате сгорания которого образуется вода.

Другое направление прилагаемых усилий — это увеличение эффективности использования энергии, экономия ее на производстве и в быту. Нельзя оставлять невыключенными электроприборы, допускать бесполезные потери топлива при обогревании помещений. Примером нерационального использования энергии служат попытки введения в эксплуатацию гражданских сверхзвуковых самолетов, потребляющих в 8 раз больше топлива, чем обычные.

Решение перечисленных проблем жизненно важно для человека. Организация охраны окружающей среды требует усилий в масштабе земного шара.

Большую часть механической и электрической энергии вырабатывают тепловые двигатели. Пока равноценной замены им нет. В то же время тепловые двигатели оказывают отрицательное влияние на окружающую среду и условия существования человека на Земле.

Используемые источники:

<http://infofiz.ru/index.php/mirfiziki/fizst/lkf/128-lk16>

Источник: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/7/sposoby-opredeleniya-vnutrennej-energii>

<https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/7/sposoby-opredeleniya-vnutrennej-energii>

https://foxford.ru/wiki/fizika/adiabatnyy-protsess?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F

<https://nauchniestati.ru/spravka/adiabaticheskij-procress/>

Источник: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/10/chto-nuzhno-znat-o-vtorom-zakone-termodinamiki--kratkoe-opisanie>

Источник: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/10/princzip-dejstviya-teplovyyh-dvigatelij>

<https://www.yaklass.ru/p/fizika/8-klass/teplovyje-iavljenia-chast-2-141552/preobrazovaniia-energii-v-teplovyykh-mashinakh-161316/re-42e0057f-33a4-4c04-9b76-dbf7915b342b>

https://foxford.ru/wiki/fizika/princip-raboty-teplovyyh-dvigatelij?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F