

БЛОК -7**РАЗДЕЛ - 2****ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

Содержание ОК	№ ОК	§ § учебника
Тема 51	ОК-51	§75,76,77
1.Что изучает термодинамика?		
2.Внутренняя энергия.		
3.Внутренняя энергия идеального газа.		
4.Работа в термодинамике.		
Тема 52	ОК-52	§78,79
1.Первый закон термодинамики.		
2.Применение первого закона термодинамики		
3.Адиабатный процесс.		
Тема 53	ОК-53	§82
1.Тепловые двигатели.		
2.Принцип работы тепловых двигателей.		
3.Идеальная машина Карно.		
Тема 54	ОК-54	§80
1.Обратимые и необратимые процессы		
2.Второй закон термодинамики		
Урок взаимоконтроля «Повторим теорию»		ВЗК-7
Тренировочные задания к БЛОКУ -7 «Основы термодинамики»		

БЛОК - 7

ТЕРМОДИНАМИКА

ОК - 51

-изучает свойства тел без использования свойств частиц

1. Внутренняя энергия

$$U = E_K + E_{\Pi}$$

«А» ← Способы изменения → Теплопередача

↓
теплопроводность,
конвекция, излучение

2. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа (гелий, аргон, неон)

$$U = N E_K; N = \frac{m}{M} N_A; E_K = \frac{3}{2} kT; k N_A = R$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

3. Количество теплоты.

$Q = qm$ – сгорание топлива;

$Q = cm\Delta t$ – нагревание, охлаждение;

$Q = \lambda m$ – плавление, отвердевание;

$Q = Lm$ – парообразование, конденсация;

q – уд. теплота сгорания;

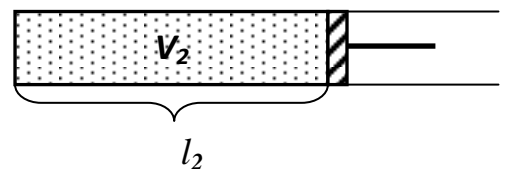
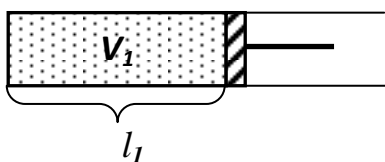
c – уд. теплоемкость;

λ – уд. теплота плавления

L – уд. теплота парообразования

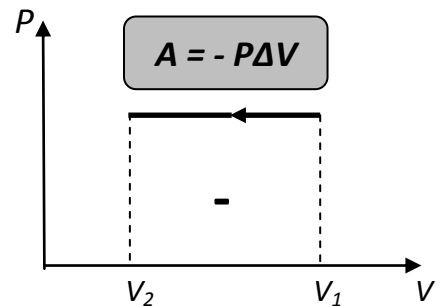
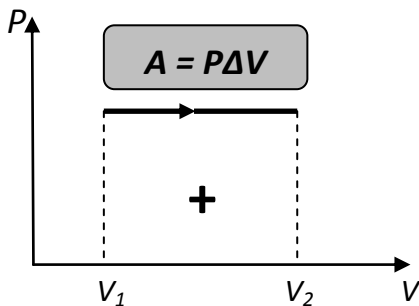
4. Работа в термодинамике.

P - const



$$A = F \Delta l \cos \alpha; F = PS; A = PS \Delta l; V = S \Delta l$$

$$A = P \Delta V$$



Изохорный процесс - $\Delta V = 0$; $A = 0$

*Пояснения к ОК-51***1. Что изучает термодинамика**

МКТ объясняет свойства тел и явления, происходящие в веществе, исходя из рассмотрения характера движения и взаимодействия частиц - молекул или атомов. Например, давление идеального газа объясняется бомбардировкой огромного числа молекул стенок сосуда, а зависимость его от температуры описывается исходя из представлений о связи давления со средней кинетической энергией поступательного движения молекул газа.

Но в ряде случаев методы МКТ оказываются слишком сложными для количественного описания явлений.

Оказывается, что многие соотношения между параметрами состояния вещества можно вывести, ничего не зная о внутреннем "механизме" явлений.

Раздел физики, в котором изучаются свойства тел без использования представлений о характере движения и взаимодействия частиц, из которых они состоят, **называется термодинамикой**.

Исторически начало развития термодинамики связано с изучением КПД тепловых машин. Развитие техники и повсеместное распространение тепловых машин в первой половине XIX в. настоятельно требовали развития теории тепловых процессов. Однако физика того времени не могла дать стройной теории тепловых процессов на основе молекулярных представлений, поэтому развитие теории пошло по своеобразному пути.

В 1824 г. французский физик и инженер Сади Карно в работе "Размышления о движущей силе огня, сформулировал принцип, согласно которому производительность тепловой машины зависит не от рабочего вещества, а от разности температур нагревателя и холодильника.

В дальнейшем термодинамика получила развитие в работах Клапейрона, Джоуля, Клаузиуса, Майера, Томсона и др.

Термодинамика относится к феноменологическим теориям физики, которые имеют следующие общие черты:

- 1. они не рассматривают атомную структуру материи;*
- 2. используют величины, которые определяются только для макроскопической системы;*
- 3. построение теории основывается на известных опытных данных;*
- 4. свойства вещества выражаются в форме характеристических параметров (плотность, вязкость и т.д.)*

Термодинамика изучает тепловые свойства макроскопических систем, не обращаясь к микроскопическому строению тел, составляющих систему. Она строится на базе нескольких основных принципов - начал термодинамики, которые представляют собой обобщение известных многочисленных опытных данных.

При изучении основ термодинамики необходимо помнить следующие определения.

1. Физическая система, состоящая из большого числа частиц - атомов или молекул, которые совершают тепловое движение и взаимодействуя между собой, обмениваются энергиями, называется *термодинамической системой*.

Примером такой системы может быть любая тепловая машина.

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

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

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

4. Процессы бывают обратимыми и необратимыми.

Обратимым называется такой процесс, при котором возможно осуществить 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 обратно. 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 является расширение газа, даже идеального, в пустоту. Расширяясь, газ не преодолевает сопротивление 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.

2. Внутренняя энергия

Одним из важных параметров термодинамической системы является внутренняя энергия.

Внутренняя энергия - это сумма энергий молекулярных взаимодействий и энергии теплового движения и является однозначной функцией состояния.

Внутренняя энергия зависит только от состояния системы. Изменение состояния системы характеризуется параметрами состояния **p, V, T** ; одному и тому же состоянию системы соответствует определенное значение внутренней энергии **U** .

При нагревании газа увеличивается скорость движения молекул и атомов, что приводит к увеличению внутренней энергии; следовательно, внутренняя энергия зависит от температуры. При изменении давления или объема меняются межмолекулярные расстояния, т.е. потенциальная энергия взаимодействия атомов или молекул тоже меняется, а, следовательно, изменяется и внутренняя энергия. Началом отсчета внутренней энергии считается такое состояние системы, при котором внутренняя энергия равна нулю.

Обычно считают, что внутренняя энергия равна нулю при $T=0$.

При переходе системы из одного состояния в другое практический интерес представляет изменение внутренней энергии ΔU , поэтому выбор начала отсчета внутренней энергии не имеет значения.

3. Способы изменения внутренней энергии.

1. Совершение работы

$$\Delta U = A_{mp}$$

- обработка деталей напильником, резцом;
- работа по преодолению F_{mp} .

2. Теплопередача

$$\Delta U = Q$$

где Q - количество теплоты, переданное телу.

Виды теплопередачи.

а. теплопроводность - называется процесс передачи внутренней энергии от одних частей тела к другим. Обусловлен этот процесс хаотическим движением молекул без переноса вещества.

б. конвекция - теплообмен, который происходит при перемешивании неравномерно нагретых газов или жидкостей под действием силы тяжести.

в. излучение тела, которое определяется только его температурой, называется *тепловым излучением*. Процесс передачи внутренней энергии от более нагретого тела к менее нагретому.

4. Внутренняя энергия идеального газа

Газ, состоящий из отдельных атомов, а не молекул, называется *одноатомным*. К одноатомным газам относятся инертные газы - гелий, неон, аргон. В случае идеальных газов пренебрегают силами взаимодействия молекул, т.е. их потенциальная энергия полагается равной нулю, поэтому внутренняя энергия теплового движения представляет собой кинетическую энергию теплового движения молекул.

$$U = E_{k1} + E_{k2} + \dots + E_{kN} = NE_k$$

Известно, что средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы (одноатомной) равна

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

Определим внутреннюю энергию идеального одноатомного газа массой m . Для этого среднюю кинетическую энергию одного атома надо умножить на число атомов. В 1 моле содержится N_A атомов, в газе массой m содержится $\nu = \frac{m}{M}$ молей, $\nu = \frac{N}{N_A}$; $N = \frac{m}{M} N_A$, поэтому внутренняя энергия идеального одноатомного газа будет равна

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

т.к. $kN_A = R$, тогда

$$\Delta U = \frac{3}{2} * \frac{m}{M} R \Delta T \quad \xrightarrow{i=3}$$

т.е. изменение внутренней энергии идеального газа пропорционально массе газа и изменению его термодинамической температуре.

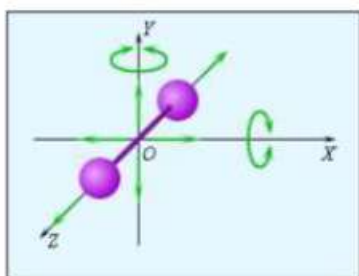
5. Внутренняя энергия многоатомного газа

Молекула одноатомного газа рассматривается как материальная точка, т.к. масса атома сосредоточена в основном в ядре, размеры которого малы. Положение одноатомной молекулы в пространстве задается тремя координатами.

Говорят, что **одноатомный газ имеет три степени свободы ($i=3$)**. Эта молекула находится в хаотическом движении, все направления движения являются равноправными, т.е. средняя кинетическая энергия хаотического теплового движения молекулы равномерно распределена между тремя степенями свободы.

На каждую степень свободы поступательного движения одноатомной молекулы приходится одинаковая кинетическая энергия, равная $E = \frac{1}{2} kT$ (где k – постоянная Больцмана).

Молекула двухатомного газа представляет собой два атома, «жестко» связанных между собой.



На рисунке представлена модель двухатомной молекулы

Молекула имеет возможность производить пять независимых типов движений: три поступательных движения вдоль осей X, Y, Z и два вращения относительно осей X и Y.

Каждое независимое движение в молекуле носит название степени свободы.

Принято считать, что

-одноатомная молекула обладает 3 поступательными степенями свободы ($i = 3$);

-«жесткая» двухатомная молекула 5 степенями, то есть 3 поступательными и 2 вращательными ($i = 5$);

-многоатомная молекула 6 степенями свободы, из которых 3 приходится на поступательные и 3 на вращательные ($i = 6$).

Внутренняя энергия многоатомного газа представляет собой кинетическую энергию всех движений частиц. Все степени свободы многоатомной молекулы являются равноправными, поэтому они вносят одинаковый вклад в ее среднюю кинетическую энергию:

$$E = \frac{i}{2} kT$$

Внутренняя энергия многоатомного идеального газа массы m равна

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

6. Работа в термодинамике

В современном производстве широкое распространение получили тепловые двигатели, в которых энергия, выделяемая при сгорании топлива, превращается в механическую. Процесс превращения энергии в тепловых двигателях осуществляется при помощи расширения пара или газа.

Чтобы понять принцип действия тепловых двигателей, необходимо рассмотреть условия, при которых газ может выполнять работу, и знать, как ее можно вычислить.

Допустим, что газ нагревается *изобарически* - при постоянном давлении и что некоторая его масса заключена в цилиндр с подвижным поршнем, который может без трения перемещаться.

$P = \text{const}$



$$A = F \Delta l \cos \alpha, \text{ при } \alpha = 0 \quad A = F \Delta l$$

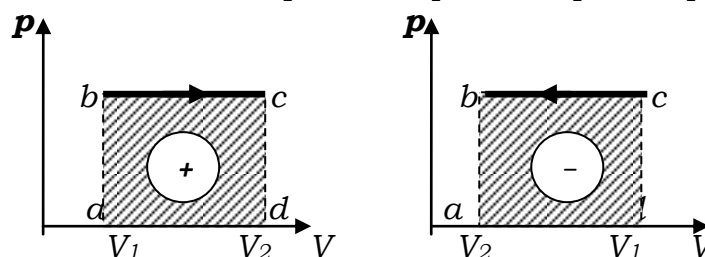
$$\text{а т.к. } F = pS, \text{ то } A = pS \Delta l = p \Delta V$$

$$A = p(V_2 - V_1) = p \Delta V$$

т.е. работа, совершаемая газом при изобарическом расширении против внешних сил, равна произведению давления газа на приращение его объема $A = p \Delta V$. Эта работа положительна.

Если же газ сжимается, то работа силы, с которой газ действует на поршень, отрицательна (т.к. $\Delta V < 0$).

Графическое истолкование работы при изобарном процесс:

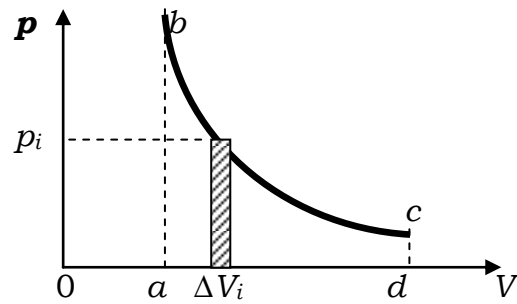


$$A = p \Delta V \quad A = S_{abcd} \quad A = -p \Delta V$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A = p \Delta V \\ p \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T \end{array} \right. \Rightarrow A = \frac{m}{M} R \Delta T$$

7. Работа газа при изотермическом процессе.

При изменении объема газа часто изменяется и его давление. Как в этом случае найти работу? Для вычисления работы воспользуемся графическим методом



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

$$A = S_{abcd}$$

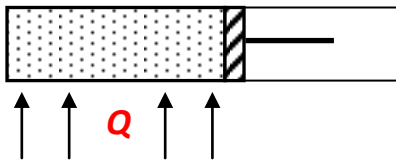
$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

БЛОК - 7

ОК - 52

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

- закон сохранения и превращения энергии для тепловых процессов



$$Q = \Delta U + A$$

Количество теплоты, сообщенное телу, идет на увеличение его внутренней энергии и на совершение телом работы над внешними силами

$$A = Q - \Delta U; \quad Q = 0; \quad A = - \Delta U \longrightarrow \text{«ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»?!}$$

Применение к различным процессам

1.Изобарный

$$P = const; \quad Q = \Delta U + A$$

2.Изохорный

$$V = const; \quad A=0; \quad Q = - \Delta U$$

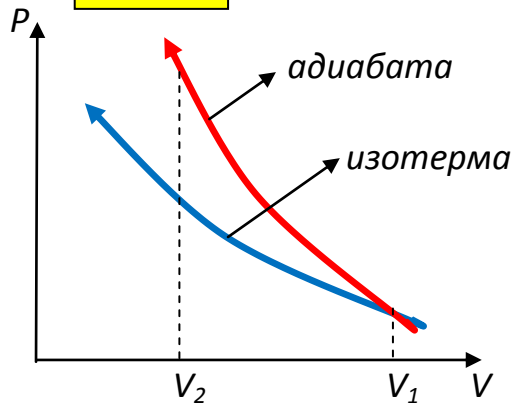
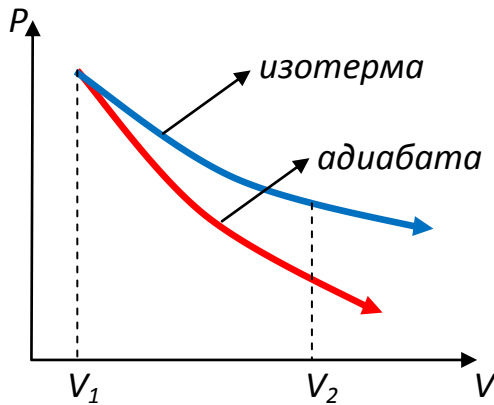
3.Изотермический

$$T = const; \quad \Delta U = 0; \quad Q = A$$

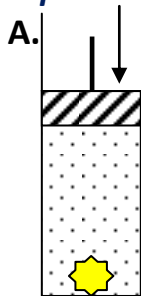
4.Адиабатный

(без теплообмена с окружающей средой $Q = 0$)

$$\Delta U = A$$



Примеры:



А. «А» быстро эфир воспламеняется

Б. двигатель ДИЗЕЛЯ

В. охлаждение газа (облака) «Пепси – Кола»

Пояснения к ОК-52

1. Первое начало термодинамики.

Основу термодинамики составляют два закона (или начала).

Исторически в формулировке первого начала термодинамики важную роль сыграли неудачные попытки человека построить машину, которая производила бы работу, не потребляя эквивалентного количества энергии; такую машину называли *вечным двигателем* (от лат. "перпетуум мобиле") первого рода.

Первое начало термодинамики формулируют в виде следующего утверждения: *невозможно построить «перпетуум мобиле» первого рода.*

Первое начало термодинамики - это закон сохранения и превращения энергии;

при разнообразных процессах, протекающих в природе, энергия не возникает из ничего и не уничтожается, но превращается лишь из одних видов в другие.

Для того чтобы записать первое начало термодинамики в математической форме, рассмотрим, как происходит изменение внутренней энергии системы.

В общем случае внутренняя энергия тела может возрастать как за счет механической работы внешних сил, так и за счет теплообмена.

При обмене энергией с окружающими телами внутренняя энергия тела в зависимости от обстоятельств может, как возрастать, так и уменьшаться: знак Q указывает направление теплообмена.

Если при теплообмене окружающие тела нагреваются, т.е. отнимают энергию у рассматриваемого тела, то $Q < 0$. Если при изменении внутренней энергии тела совершается работа A над окружающими телами, то эта работа считается положительной ($+A$), если же окружающие тела совершают работу над рассматриваемым телом, то эта работа отрицательна ($-A$).

Так как в общем случае внутренняя энергия тела меняется как при сообщении телу количества теплоты, так и при совершении над ним работы, то учитывая правила знаков, закон сохранения энергии применительно к происходящему процессу можно записать в виде:

$$\Delta U = Q - A$$

ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ТЕЛА РАВНО РАЗНОСТИ СООБЩЕННОГО ТЕЛУ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ И ПРОИЗВЕДЕННОЙ НАД НИМ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.

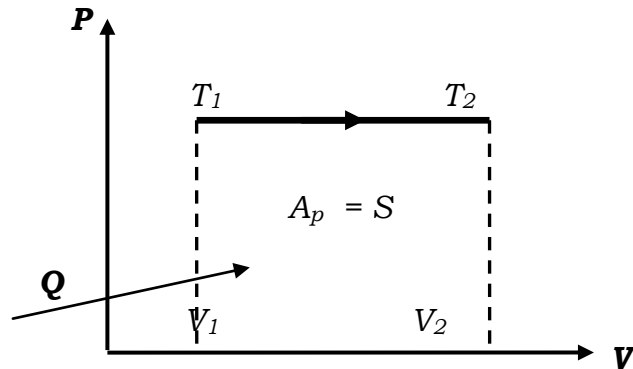
Закон можно записать в виде $Q = \Delta U + A$

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ, СООБЩЕННОЕ ТЕЛУ, ИДЕТ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ЕГО ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ И НА СОВЕРШЕНИЕ ТЕЛОМ РАБОТЫ НАД ВНЕШНИМИ СИЛАМИ.

2. Применение первого закона термодинамики

а. изобарный процесс.

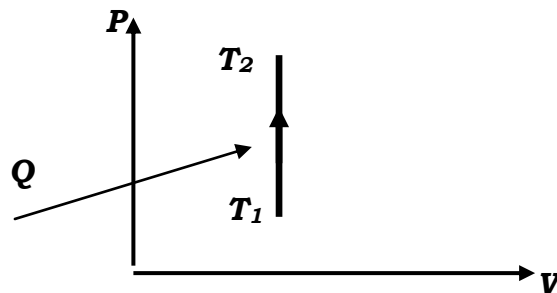
$$P = \text{const}, \quad T_2 > T_1, \quad \Delta U > 0, \quad A > 0. \quad Q = U + A$$



Передаваемое газу количество теплоты идет на изменение его внутренней энергии и на совершение им работы при постоянном давлении.

б. изохорный процесс

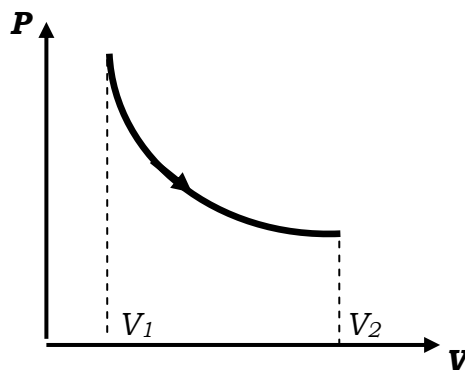
$$V = \text{const}, \quad \Delta V = 0, \quad T_2 > T_1, \quad \Delta U > 0, \quad A = p\Delta V = 0. \quad Q = \Delta U$$



Количество теплоты, передаваемое системе равно изменению внутренней энергии.

в. изотермический процесс

$$T = \text{const}, \quad \Delta T = 0, \quad \Delta U = 0, \quad A_T < A_p. \quad Q = A$$



Передаваемое газу количество теплоты идет на совершение работы.

г. адиабатный процесс

Процесс, протекающий в системе, которая не обменивается теплотой с окружающими телами, т.е. процесс в теплоизолированной системе.

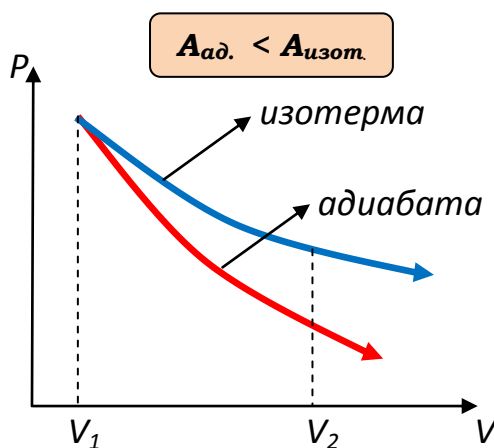
При адиабатном процессе $Q = 0$ и изменение внутренней энергии происходит только за счет совершения работы.

$$\Delta U = A$$

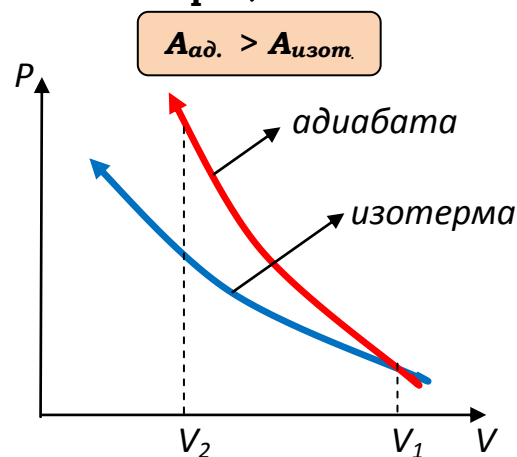
Трудно окружить систему оболочкой, абсолютно не допускающей теплопередачу. Но в ряде случаев можно считать реальные процессы очень близкими к адиабатным. Для этого они должны протекать достаточно быстро, так, чтобы за время процесса не произошло заметного теплообмена.

Адиабатный процесс			
Название процесса	I закон термодинамики	Изменение внутренней энергии	Физический смысл I закона термодинамики
Адиабатное расширение $A > 0$ $\Delta T < 0$ $Q = 0$	$\Delta U = -A$	$\Delta U = \frac{3m}{2M} R \Delta T$ $\Delta U < 0$	Внутренняя энергия газа уменьшается за счет того, что газ сам совершает работу (газ охлаждается)
Адиабатное сжатие $A < 0$ $\Delta T > 0$ $Q = 0$	$\Delta U = A$	$\Delta U = \frac{3m}{2M} R \Delta T$ $\Delta U > 0$	Внутренняя энергия газа увеличивается за счет того, что над газом совершается работа (газ нагревается)

Графическое изображение адиабатного процесса



При адиабатном расширении температура газа понижается, давление газа с увеличением объема убывает быстрее, чем при изотермическом процессе. Совершаемая работа при адиабатном расширении газа меньше, чем при изотермическом расширении газа.



При адиабатном сжатии температура газа повышается, давление газа с уменьшением объема растет быстрее, чем при изотермическом процессе. Совершаемая работа при адиабатном сжатии газа больше, чем при изотермическом сжатии газа.

Примеры адиабатных процессов.

1. Нагревание газа при быстром сжатии можно получить с помощью цилиндра на дно, которого положили смоченный эфиром кусочек ваты. При быстром опускании поршня, пары эфира воспламеняются

2. Нагревание воздуха при быстром сжатии нашло применение в двигателях Дизеля. В этих двигателях отсутствует система зажигания горючей смеси.

В цилиндр засасывается не горючая смесь, а атмосферный воздух. К концу такта сжатия в цилиндр впрыскивается жидкое топливо. К этому моменту температура воздуха так велика, что горючее воспламеняется. Двигатели имеют больший КПД, чем обычные карбюраторные двигатели.

3. Охлаждение газа при адиабатном расширении происходит в грандиозных масштабах в атмосфере Земли. Это расширение сопровождается значительным охлаждением. В результате водяные пары конденсируются и образуют облака.

«Пепси – кола» и другие напитки.

Процесс, при котором пробка вылетает из бутылки с напитками или при быстро открывании пробки - является адиабатным. Так как после вылета пробки, объем, занимаемый воздухом увеличивается, то газ совершает положительную работу, которая приводит к уменьшению внутренней энергии, а следовательно, и уменьшению температуры. При этом над горлышком бутылки возникает туман.

Итоговая таблица.

Первый закон термодинамики и изопроцессы

Процесс (постоянный параметр)	Значения A и Q	ΔU	Первый закон термодинамики
<i>Изотермическое расширение</i> ($T=const$)	$A > 0$ $Q > 0$	$\Delta U=0, m.к.$ $T = const$ $U = const$	$Q = A$ $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$
<i>Изотермическое сжатие</i> ($T=const$)	$A < 0$ $Q < 0$	$\Delta U=0$	$Q = -A$ $A = -\frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$
<i>Изохорное нагревание</i> ($V=const$)	$A = 0$ $Q > 0$	$\Delta U=Q, m.к.$ $V = const$	$\Delta U=Q$ $\Delta U = \frac{3m}{2M} R\Delta T$
<i>Изохорное охлаждение</i> ($V=const$)	$A = 0$ $Q < 0$	$\Delta U = Q$	$\Delta U=Q$
<i>Изобарное расширение</i> ($p=const$)	$A > 0$ $Q > 0$	$\Delta U = Q + A$ $\Delta U > 0$	$Q = \Delta U + A$ $A=p\Delta V$
<i>Изобарное сжатие</i> ($p=const$)	$A < 0$ $Q < 0$	$\Delta U = Q + A$ $\Delta U < 0$	$Q = \Delta U + A$ $A=-p\Delta V$
<i>Адиабатное расширение</i>	$A > 0$ $Q = 0$	$\Delta U = A$ $\Delta U < 0$	$\Delta U=A$ $\Delta U = \frac{3m}{2M} R\Delta T$
<i>Адиабатное сжатие</i>	$A < 0$ $Q = 0$	$\Delta U = A$ $\Delta U > 0$	$\Delta U=-A$

Теплоёмкость (доп. материал)

а. теплоёмкость тела

Теплоемкостью тела называют отношение количества теплоты, необходимое для повышения температуры тела от T_1 до T_2 к разности температур.

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

б. теплоёмкость вещества.

Нагревая тела с одинаковыми массами, но состоящие из различных веществ, можно обнаружить, что для повышения их температуры на 1К требуются различные количества теплоты, т.е. теплоемкость тела зависит не только от вещества, но и от процесса при котором осуществляется теплопередача.

Теплоемкость тела пропорциональна его массе ($C=cm$). Поэтому характеристикой тепловых свойств вещества является его удельная теплоемкость - величина, равная отношению теплоемкости тела к его массе

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta T}$$

Теплоемкости газа при постоянном объеме и постоянном давлении

Жидкие и твердые тела расширяются при нагревании незначительно, и их теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении мало различаются. Но для газов это различие существенно. С помощью первого закона термодинамики можно найти связь между теплоемкостями газа при постоянном объеме и постоянном давлении.

1) теплоёмкость идеального газа при $V = \text{const}$.

Теплоёмкость одного моля вещества называется *молярной теплоёмкостью*. Если процесс происходит при постоянном объеме, то эту теплоемкость обозначим через C_V . Тогда

$$Q_V = C_V \Delta T$$

При постоянном объеме работа не совершается. Поэтому первый закон термодинамики запишется так:

$$Q_V = \Delta U$$

Изменение внутренней энергии равно

$$\Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T \left(\frac{m}{M} = 1 \text{ моль} \right)$$

Тогда

$$C_V \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T$$

Следовательно, *молярная теплоемкость при постоянном объеме одноатомного газа равна*

$$C_V = \frac{3}{2} R$$

Чтобы найти удельную теплоёмкость надо C_V/M . Например, необходимо найти удельную теплоёмкость азота при постоянном объёме. Азот двухатомный газ, следовательно

$$C_V = \frac{5}{2}R = 2,5 * 8,31 = 20,775 \text{ Дж/К}$$

тогда удельная теплоёмкость $c_V = \frac{C_V}{M} = \frac{20,775}{28*10^{-3}} = 742 \frac{\text{Дж}}{\text{кг*К}}$

т.е. удельную теплоёмкость газов можно найти следующим образом

$$c_V = \frac{iR}{2M}$$

2. теплоёмкость идеального газа при $P = \text{const}$.

Согласно определению теплоёмкости при постоянном давлении C_p

$$Q_p = C_p \Delta T$$

Работа, которую совершит 1 моль идеального газа, расширяющегося при постоянном давлении, равна

$$A = R \Delta T$$

Из последней формулы видно, что универсальная газовая постоянная численно равна работе, которую совершает 1 моль идеального газа при постоянном давлении, если температура его увеличивается на 1К.

Это следует из выражения для работы газа при постоянном давлении

$$A = p \Delta V$$

и уравнения состояния (для одного моля) идеального газа

$$pV = RT.$$

Внутренняя энергия идеального газа от объема не зависит. Поэтому и при постоянном давлении изменение внутренней энергии

$$\Delta U = C_V \Delta T,$$

как и при постоянном объеме. Применяя первый закон термодинамики, получим

$$C_p \Delta T = C_V \Delta T + R \Delta T$$

Следовательно, молярные теплоёмкости идеального газа связаны соотношением

$$C_p = C_V + R \text{ (т. е. } C_p > C_V)$$

Молярная теплоёмкость идеального газа при постоянном давлении больше теплоёмкости при постоянном объеме на величину универсальной газовой постоянной R .

Впервые эта формула была получена Р. Майером в 1845г. и носит его имя. В случае идеального одноатомного газа

$$C_p = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$$

Итак,

- для одноатомных газов $C_p = \frac{5}{2}R$
- для двухатомных газов $C_p = \frac{7}{2}R$
- для многоатомных газов $C_p = 4R$

Теплоемкость идеального газа при изотермическом процессе

Можно формально ввести понятие теплоемкости и при изотермическом процессе. Так как при этом процессе внутренняя энергия идеального газа не меняется, какое бы количество теплоты ему ни было передано, то теплоемкость бесконечна. $C \rightarrow \infty$

Адиабатный процесс.

В адиабатическом процессе теплообмена с окружающей средой не происходит, т.е. $Q = 0$, но давление и температура меняются, т.е. $\Delta T \neq 0$ следовательно, $C = \frac{0}{\Delta T} = 0$.

Выводы:

1) Молярная теплоемкость газа определяется только числом степеней свободы его молекулы значением универсальной газовой постоянной R .

2) Молярные теплоемкости C_p и C_v не зависят от температуры.

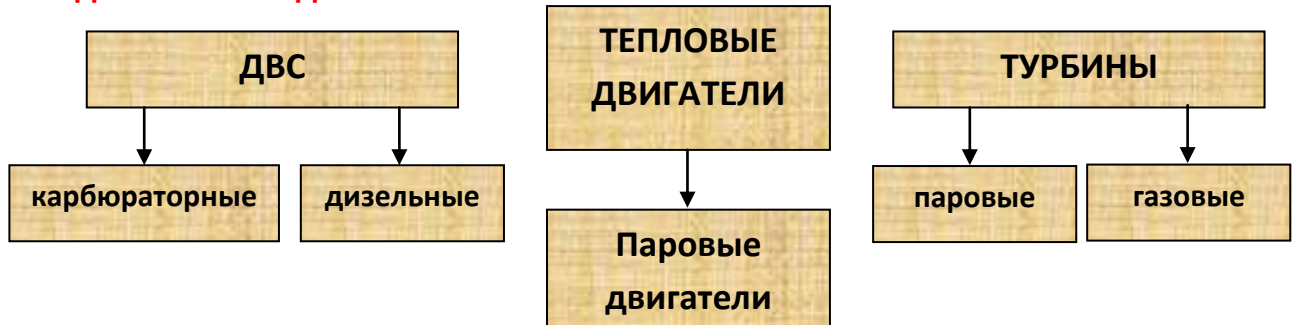
БЛОК - 7

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

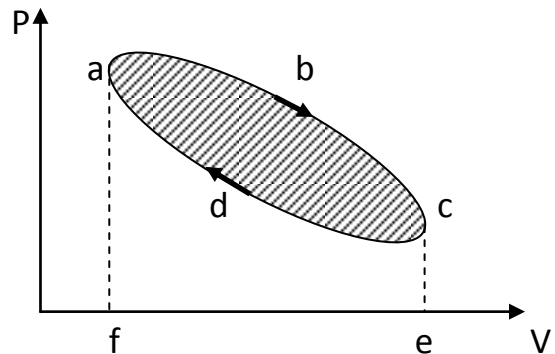
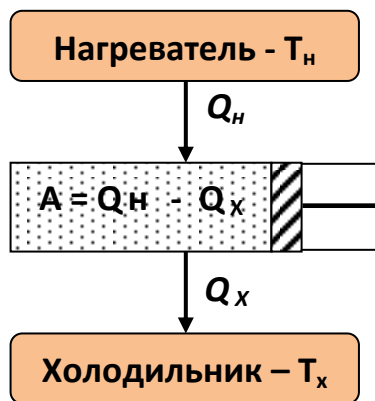
ОК – 53

- машины, преобразующие теплоту сгорания топлива в мех.энергию

1.Виды тепловых двигателей.



2.Принцип работы теплового двигателя.



Тепловой двигатель работает циклично

abc – расширение, $A = S_{abcef}$

cda – сжатие, $A' = S_{adcef}$

$$A_{\text{полезная}} = A - A' = S_{adcef}$$

3.КПД тепловых двигателей.

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} 100\%$$

4.Идеальная тепловая машина Карно (фр. – 1824г.)

(Рабочим телом является идеальный газ)

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H} 100\% > \eta \text{ реальных Т. Д.}$$

(нельзя осуществить условие $T_H \rightarrow \infty$; $T_X = 0$)

Повысить КПД можно за счет уменьшения трения, потерь топлива.

КПД – ДВС – 25 – 35 % ; КПД – паросиловых установок – 40%

Пояснения к ОК-53

1. Тепловые двигатели

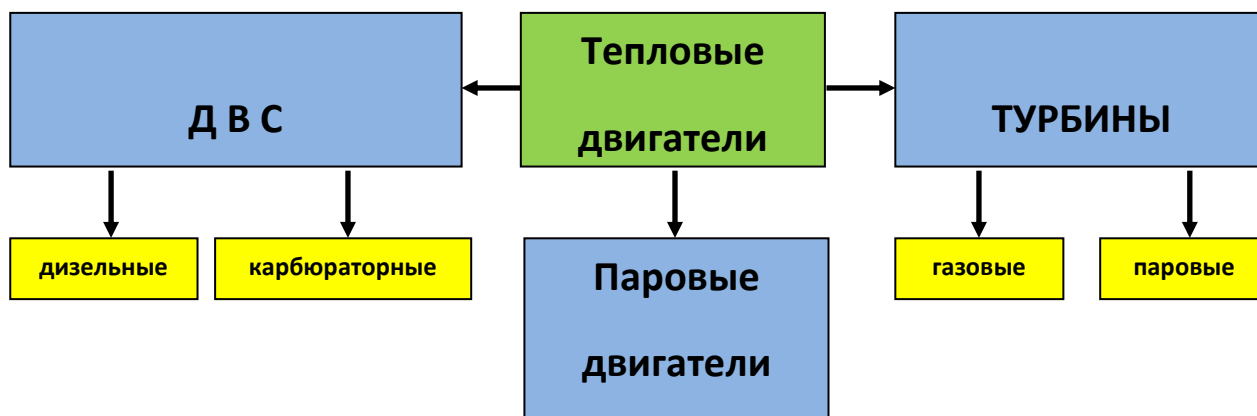
Тепловые двигатели - это машины, преобразующие внутреннюю энергию топлива в механическую, совершая при этом круговой процесс (цикл). Тепловые машины бывают двух видов — в зависимости от направления протекающих в них процессов.

1. Тепловые двигатели преобразуют теплоту, поступающую от внешнего источника, в механическую работу.

Автомобильный двигатель внутреннего сгорания — это пример теплового двигателя. В нём происходит преобразование тепла, выделяющегося при сгорании топлива, в механическую энергию автомобиля.

2. Холодильные машины передают тепло от менее нагретого тела к более нагретому за счёт механической работы внешнего источника.

В бытовом холодильнике - тепло отводится от холодильной камеры и передаётся в окружающее пространство.



1698 г. – англичанин Т.Севери
1763 г. – русский И.И.Ползунов

1774 г. – англичанин Дж.Уатт
1807 г. – француз Д.Папен

1860 г. – француз Ленуар
1876 г. – немец Н.Отто
1897 г. – немец Р. Дизель

1889 г. – швед К.Лаваль

→ Паровые двигатели

→ ДВС

→ Паровая турбина

2. Принцип действия тепловых двигателей

Рассмотрим необходимость цикличности работы теплового двигателя на примере кругового процесса, осуществляемого с определенной массой газа или пара.

Представим себе, что мы впустили в цилиндр, в котором может перемещаться поршень, определенную массу газа или пара (*называемое рабочим телом или веществом*).

Рабочее тело, расширяясь, совершит работу против внешних сил. С прекращением расширения прекратится процесс превращения внутренней энергии в механическую. В данном случае мы имеем дело с тепловым двигателем одностороннего действия (*например, огнестрельное оружие*).

Для осуществления повторного расширения необходимо сжать рабочее вещество, приведя поршень и рабочее тело в первоначальное состояние.

Но, если сжимать рабочее тело при тех же давлениях, то внешним силам придется при сжатии совершить работу, равную работе расширения. *В результате полезная работа за один цикл, окажется равной нулю.*

Поэтому необходимо, чтобы сжатие рабочего вещества осуществлялось при более низких давлениях. А это возможно при понижении температуры. Поэтому рабочее вещество должно быть охлаждено. Для этого необходимо привести его в контакт с телом, имеющим более низкую температуру. Это тело называется *холодильником*.

Разберём блок схему теплового двигателя (*см. рис. в ОК*).

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.

Но чтобы заставить газ расширяться, преодолевая внешние силы, нужно нагреть его до температуры, которая существенно выше температуры окружающей среды. Для этого газ приводится в контакт с: *нагревателем, т.е. со сгорающим топливом. Температуру T_n называют температурой нагревателя.*

В процессе сгорания топлива выделяется значительная энергия, часть которой идёт на нагревание газа. Газ получает от нагревателя количество теплоты Q_n . Именно за счёт этого тепла двигатель совершает полезную работу A .

По мере совершения работы газ теряет энергию и неизбежно охлаждается до некоторой температуры T_x . Эта температура не может быть ниже температуры окружающей среды, так как в противном случае давление газа станет меньше атмосферного и двигатель не сможет работать. Обычно температура T_x несколько больше температуры окружающей среды. *Её называют температурой холодильника.*

Холодильником являются атмосфера или специальные устройства для охлаждения и конденсации отработанного пара — радиаторы или конденсаторы. В последнем случае температура холодильника может быть несколько ниже температуры атмосферы.

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

Рабочее тело двигателя получает при сгорании топлива количество теплоты Q_H , совершает работу A и передает холодильнику количество теплоты $|Q_X| < |Q_H|$. Причём, холодильник должен работать циклически, обеспечивая периодическую повторяемость движений поршня. Следовательно, по окончании расширения газ нужно сжимать, возвращая его в исходное состояние.

В процессе расширения газ совершает некоторую положительную работу A . В процессе сжатия над газом совершается положительная работа A' (а сам газ совершает отрицательную работу $-A'$). В итоге полезная работа газа за цикл: $A = A - A'$.

Сжимая газ, мы должны совершить меньшую работу, чем совершил газ при расширении. Для этого необходимо сжимать газ под меньшими давлениями, чем были в ходе расширения. Т.е. на pV -диаграмме процесс сжатия должен идти ниже процесса расширения, т.е. цикл должен проходиться по часовой стрелке (см.рис.в ОК).

Но, как заставить газ возвращаться в исходное состояние по более низкой кривой, то есть через состояния с меньшими давлениями? При сжатии газ должен проходить состояния с меньшими температурами.

Вот для этого и нужен холодильник: чтобы охладить газ в процессе сжатия.

Нагреватель, рабочее тело и холодильник — основные части теплового двигателя (рис.1).

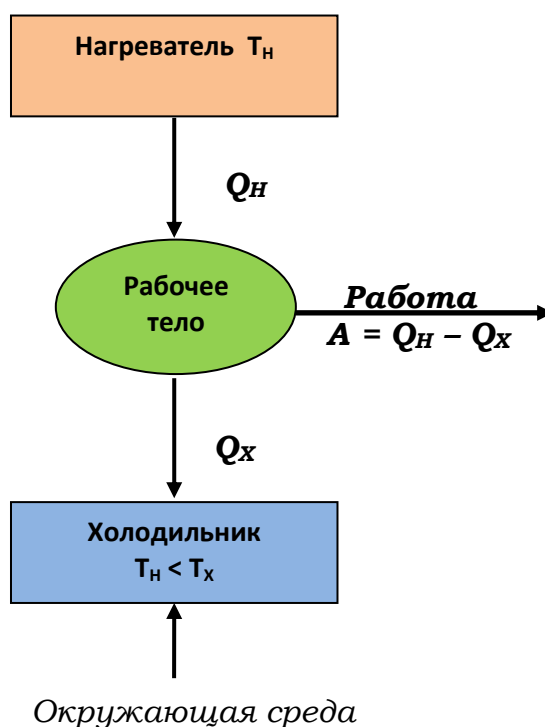


Рис. 1

На рис.2 изображены процессы расширения (ABC) и сжатия (CDA). Работа газа в процессе расширения положительна ($\Delta V > 0$) и численно равна площади фигуры ABCEF. Работа газа при сжатии отрицательна ($\Delta V < 0$) и численно равна площади фигуры ADCEF. Полезная работа равна разности площадей под кривыми ABC и CDA (заштрихована на рисунке).

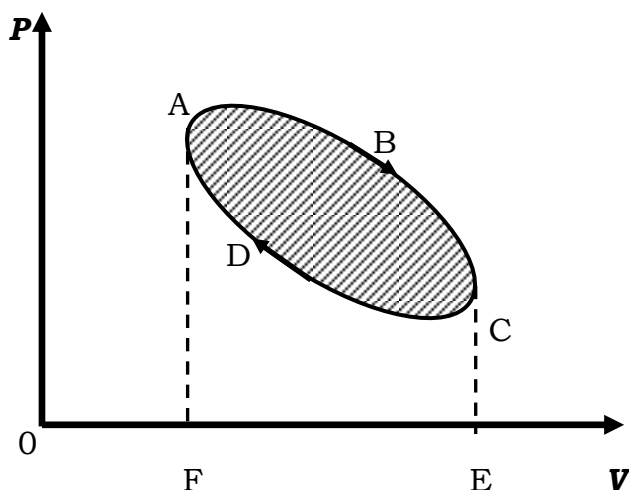


Рис.2

3. Коэффициент полезного действия.

Рабочее тело, получая некоторое количество теплоты от нагревателя Q_H , часть этого количества отдает холодильнику Q_X . Поэтому совершаемая работа равна $A = Q_H - Q_X$.

Отношение этой работы к количеству теплоты, полученной расширяющимся газом от нагревателя, называется КПД тепловой машины.

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}$$

4. Цикл Карно

Анализируя работу тепловых двигателей, обладающих низким КПД, французский ученый Сади Карно пришел к выводу о том, что максимальный КПД может быть достигнут, если приобретение и отдача энергии рабочим телом путем теплообмена будет происходить при постоянной температуре, а температура рабочего вещества будет меняться только в процессе совершения работы.

В те годы, когда жил Сади Карно (1796—1832) наилучшие паровые машины имели КПД 5%

С.Карно предложил цикл идеальной тепловой машины. Рабочий цикл Карно состоит из двух равновесных изотермических и двух равновесных адиабатных процессов. (Напомним, что равновесным называется процесс, в котором газ проходит ряд следующих друг за другом равновесных состояний. Параметры таких состояний отличаются на малую величину.)

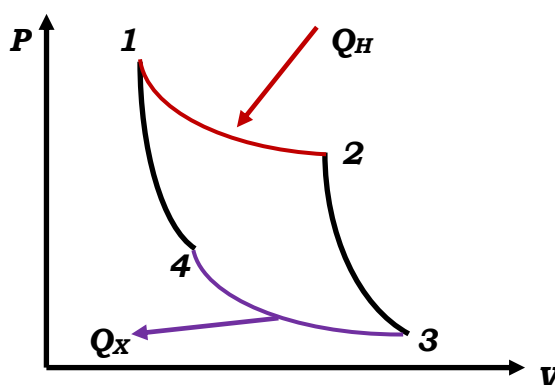
В идеальной машине отсутствуют всякие потери на теплопроводность, трение, излучение и т.д. В качестве рабочего тела выбирается идеальный газ.

На участке 1-2 идеальный газ совершает работу по *изотермическому расширению* за счет теплоты, полученной от нагревателя. Внутренняя энергия не изменяется, т.к. $T = \text{const}$.

При *адиабатном расширении* 2—3 газ совершает работу за счет изменения внутренней энергии, т.к. при этом процессе газ не получает теплоты.

При *изотермическом сжатии* 3-4 выделяющееся тепло полностью передается холодильнику, внутренняя энергия не меняется.

При *адиабатном сжатии* 4—1 работа идет на повышение внутренней энергии



В реальных тепловых двигателях процессы протекают настолько быстро, что уменьшение и увеличение внутренней энергии рабочего вещества при изменении его объема не успевают компенсироваться притоком энергии от нагревателя и отдачей энергии холодильнику. Поэтому изотермические процессы не могут быть реализованы.

То же относится и к строго адиабатным процессам, т.к. в природе нет идеальных теплоизоляторов.

Кроме того, в реальных двигателях всегда существуют потери энергии на трение. Поэтому КПД цикла в реальных двигателях всегда меньше КПД цикла Карно.

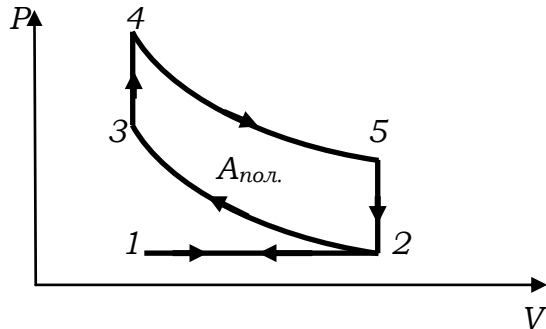
Из уравнения КПД следует, что для повышения КПД нужно увеличивать температуру нагревателя и уменьшать температуру холодильника.

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H}$$

Совершенствуя механические или электрические двигатели, их КПД стремятся приблизить к 100%, уменьшая потери энергии. При совершенствовании тепловых двигателей решается задача приближения их КПД не к 100%, а к КПД идеального двигателя Карно, работающего при тех же температурах нагревателя и холодильника. А он тем больше, чем выше температура нагревателя и ниже температура холодильника. Поэтому для повышения КПД теплового двигателя стремятся повысить температуру нагревателя и понизить температуру холодильника. Сложность заключается в том, что повышение температуры нагревателя ограничивается свойствами применяемых в конструкции двигателей сплавов. В частности, они должны быть теплостойкими и жаропрочными. Кроме того, сплавы должны обладать высокой механической прочностью и выдерживать высокие давления, не разрушаясь и сохраняя свои упругие свойства.

5. Циклы реальных тепловых двигателей.

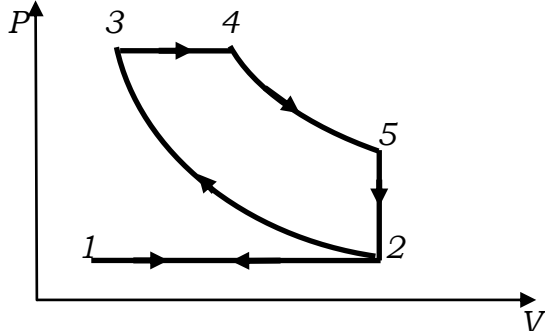
а. ДВС (карбюраторный). Цикл Карно.



- 1-2 — всасывание горючей смеси
- 2-3 — адиабатное сжатие
- 3-4 — изохорное сгорание
- 4-5 — адиабатное расширение продуктов сгорания
- 5-2 — изохорное падение давления
- 2-1 — изобарное выталкивание отработавших газов

Т.к. на изохорах работа не совершается, а работа на всасывание и на выброс газов равна и противоположна по знаку, то полезная работа за один цикл равна разности работ на адиабатах и изображается площадью цикла.

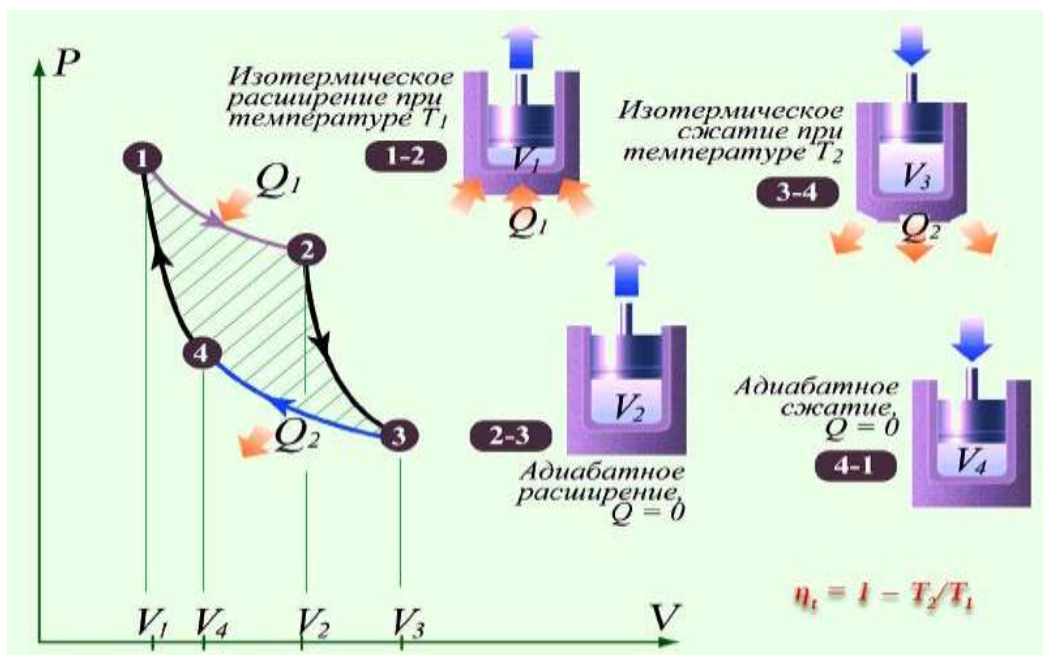
б. двигатель Дизеля.



- 1-2 - всасывается атмосферный воздух
- 2-3 - адиабатное сжатие
- 3-4 - изобарное сгорание впрыскиваемого жидкого топлива
- 4-5 - адиабатное расширение продуктов сгорания
- 5-2 - изохорное падение давления
- 2-1 - выброс газов

Замкнутость циклов является условной, т.к. перед каждым циклом цилиндр заполняется определенной массой рабочего вещества и по окончании выбрасывается из цилиндра.

Приведенные циклы являются теоретическими.



БЛОК - 7**ОК – 54****ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ****Необратимые процессы:**

Теплопередача от горячего тела к холодному является необратимым процессом.

Превращение механической энергии во внутреннюю является необратимым процессом.

Формулировка Клаузиуса:

Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача тепла от менее нагретого тела к более нагретому

Круговой процесс – процесс, при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное

Формулировка Кельвина:

Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является получение работы за счёт охлаждения теплового резервуара

Постулат Кельвина запрещает существование теплового двигателя с КПД, равным единице.

Тепловой двигатель, целиком превращающий в работу поступающее от нагревателя тепло, называется вечным двигателем второго рода.

*Пояснения к ОК-54***Обратимые и необратимые процессы**

Реальные процессы, которые происходят в природе и технике необратимы: они могут самопроизвольно идти лишь в одном определённом направлении. Обратные им процессы сами по себе никогда не протекают.

Так, если привести в тепловой контакт горячее и холодное тело, то энергия в процессе теплообмена будет передаваться от горячего тела к холодному. Обратный процесс, в результате которого холодное тело ещё больше остывало бы, а горячее ещё больше нагревалось, в действительности сам по себе не происходит.

Теплопередача от горячего тела к холодному является необратимым процессом.

Вспомним, опыт с падением свинцового шарика на свинцовую плиту (8 класс). Шарик падает на плиту и остаётся лежать на плите. Кинетическая энергия его механического движения переходит во внутреннюю энергию плиты и самого шарика. Энергетически возможен и обратный процесс: молекулы со стороны плиты синхронно ударят по шарика так, что он подпрыгнет обратно на ту высоту, с которой упал, а участок плиты при этом охладится, потеряв внутреннюю энергию). Но такое в природе никогда не наблюдалось.

Преобразование механической энергии во внутреннюю является необратимым процессом.

Второй закон термодинамики. Постулаты Клаузиуса и Кельвина

Нагретая печь или радиатор отопления передает тепло окружающему воздуху, другим менее нагретым предметам.

Первое начало термодинамики ничего не говорит о направлении теплообмена - от какого из двух различно нагретых тел должна передаваться теплота. Оно допускает переход теплоты и от холодных тел к горячим. С точки зрения первого начала важно лишь соблюдение теплового баланса.

Первое начало в принципе допускает и такой процесс, как самопроизвольный (без внешнего вмешательства) подъем тела на некоторую высоту за счет внутренней энергии этого тела, лишь бы убыль внутренней энергии точно равнялась приращению потенциальной энергии. Таким образом, первое начало оказывается недостаточным для описания большого числа явлений.

В связи с этим, независимо от первого начала в науку введено в качестве научного принципа *второе начало термодинамики*, являющееся обобщением опыта.

Необратимость процессов теплопередачи от горячего тела к холодному и превращения механической энергии во внутреннюю была постулирована во втором законе термодинамики. Две эквивалентные формулировки второго закона термодинамики принадлежат Клаузиусу и Томсону (лорду Кельвину).

Постулат Клаузиуса. *Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача тепла от менее нагретого тела к более нагретому.*

Процесс, при котором тепло передаётся от менее нагретого тела к более нагретому, происходит в холодильных машинах. Но эта передача тепла не является единственным результатом данного процесса. Происходят изменения и в других телах например, работает внешний источник энергии. Постулат Клаузиуса утверждает невозможность самопроизвольной теплопередачи от холодного тела к горячему.

Постулат Кельвина. *Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является получение работы за счёт охлаждения теплового резервуара.*

В тепловом двигателе работа получается за счёт отвода тепла от нагревателя. Но получение работы не является единственным результатом данного процесса. Для обеспечения цикличности работы теплового двигателя какое-то количество теплоты должно быть отдано холодильнику. Поэтому происходят изменения и в других телах.

Постулат Кельвина запрещает существование теплового двигателя с КПД, равным единице.

Тепловой двигатель, целиком превращающий в работу поступающее от нагревателя тепло, называется вечным двигателем второго рода. Он не противоречит закону сохранения энергии. Если бы такой двигатель был изобретён, люди получили бы возможность без потерь превращать в работу огромные запасы внутренней энергии морей и океанов. Но невозможность создать вечный двигатель второго рода как раз и утверждается постулатом Кельвина.

БЛОК -7**Повторим теорию!****ВЗК - 7****«Основы термодинамики»**

1. Что изучает термодинамика?
2. Что такое внутренняя энергия?
3. Чем отличается внутренняя энергия идеального газа от внутренней энергии реального газа?
4. выведите формулу внутренней энергии одноатомного идеального газа.
5. Как определить внутреннюю энергию одноатомного идеального газа через давление и объём?
6. Моль какого газа - водорода или гелия – при одинаковой температуре имеет большую внутреннюю энергию? Почему?
7. Назовите два способа изменения внутренней энергии.
8. Что называется теплопередачей? Как осуществить теплопередачу?
9. Что называется количеством теплоты?
10. Напишите формулу для расчета количества теплоты, необходимого для нагревания тела или отдаваемого при его охлаждении.
11. Что называется удельной теплоемкостью вещества? В каких единицах измеряется?
12. По какой формуле определяют количество теплоты, затраченное на превращение в пар произвольной массы жидкости и выделяемое при конденсации пара в жидкость?
13. Что называют удельной теплотой парообразования? В каких единицах измеряют?
14. По какой формуле определяют количество теплоты, затраченное на плавление кристаллического тела произвольной массы или выделяемой при отвердевании этого тела?
15. Что называют удельной теплотой плавления? В каких единицах измеряют?
16. По какой формуле определяют количество теплоты, выделяемое при полном сгорании топлива?
17. Что называют удельной теплотой сгорания топлива? В каких единицах измеряют?
18. Чему равна работа внешних сил, действующих на газ?
19. Чем отличается работа, совершаемая внешними силами над газом, от работы газа над внешними силами?
20. Объясните, как графически определяют работу изобарного расширения газа?
21. Чему равна работа газа при изохорном процессе?
22. Что называют первым законом термодинамики? Как записывают и формулируют этот закон?
23. Как записывают первый закон термодинамики для изопроцессов?
24. Какой процесс называют адиабатным? При каких условиях он осуществляется? Приведите примеры осуществления адиабатного процесса.
25. Что называют тепловым двигателем?
26. Нарисуйте и объясните блок-схему устройства тепловых двигателей.
27. По какой формуле определяют работу совершаемую двигателем?
28. Что называется КПД теплового двигателя? Запишите и объясните формулу КПД теплового двигателя.
29. По какой формуле определяется КПД идеальной тепловой машины?
30. Каков КПД паросиловых установок и двигателей внутреннего сгорания?