

Тепло

Техника

## Двигатели внутреннего сгорания

ДВС - это тепловая машина, в которой сжигание топлива происходит в рабочем объеме самого двигателя.

Рабочим телом ДВС служит вначале воздух или его смесь топливом, а после сгорания – продукты сгорания.

В ДВС температура рабочего тела  $\gg T_{кр}$  при невысоких давлениях, т.е рабочее тело можно рассматривать как идеальный газ.

Тепло

Техника

Двигатели  
внутреннего сгорания

Различают поршневые ДВС и ротационные ДВС или газотурбинные установки (ГТУ).

Поршневые ДВС имеют систему цилиндров с поршнями, соединенных посредством кривошипно-шатунного механизма с внешним потребителем энергии.

ДВС классифицируются:

По роду применяемого топлива – работающие на жидком топливе, газовые и газо-жидкостные;

По способу смесеобразования – с внешним и внутренним смесеобразованием;

По способу осуществления газообмена – 4-х и 2-х тактные;

По способу воспламенения горючей смеси – с самовоспламенением от сжатия и с принудительным зажиганием (от электрической искры);

По способу наполнения рабочего цилиндра – с наддувом и без наддува;

По конструктивным признакам – по расположению и числу цилиндров (одно- и многоцилиндровые, вертикальные, горизонтальные, V- образные и др.);

По степени быстроходности – тихоходные ( $V_{\text{поршня}} 6,5 \dots 10$  м/с); и быстроходные ( $V_{\text{поршня}} 10 \dots 15$  м/с);

По назначению – стационарные, наземно-транспортные и судовые.

В ДВС с внешним смесеобразованием горючая смесь образуется в карбюраторе. После заполнения цилиндра и сжатия смесь воспламеняется электрической искрой.

(Цикл Отто).

В ДВС с внутренним смесеобразованием цилиндр заполняется воздухом, а топливо впрыскивается в конце сжатия.  $T_{\text{возд.}} > T_{\text{воспл.}}$  топлива, что обеспечивает зажигание. Если сжатие происходит в компрессоре, то ДВС называют компрессорным дизелем.

(Цикл Дизеля).

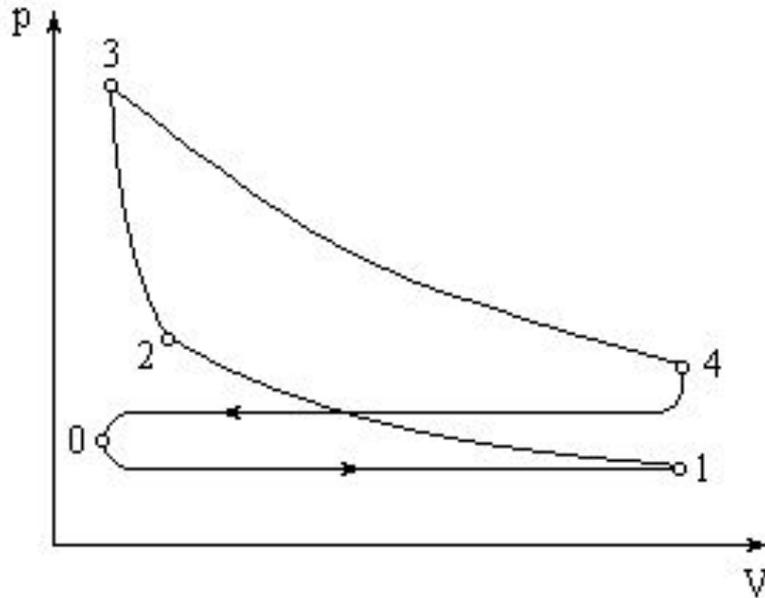
- а) цикл с подводом тепла при постоянном объеме, или цикл Отто (цикл двигателей с низкой степенью сжатия);
- б) цикл с подводом тепла при постоянном давлении, или цикл Дизеля (цикл двигателей с высокой степенью сжатия).
- в) цикл со смешанным подводом тепла, или цикл Тринклера (цикл бескомпрессорных двигателей с высокой степенью сжатия).

Исследование циклов ДВС состоит из:

- 1) анализа индикаторной диаграммы ДВС;
- 2) построения термодинамического цикла ДВС на основе индикаторной диаграммы с учетом допущений:
  - а) рабочее тело является идеальным газом с постоянной теплоемкостью,
  - б) количество рабочего тела постоянно,
  - в) разница температур между рабочим телом и источником теплоты бесконечно мала,
  - г) подвод теплоты к рабочему телу производится не за счет сжигания топлива, а от внешних источников теплоты (аналогично для отвода теплоты).

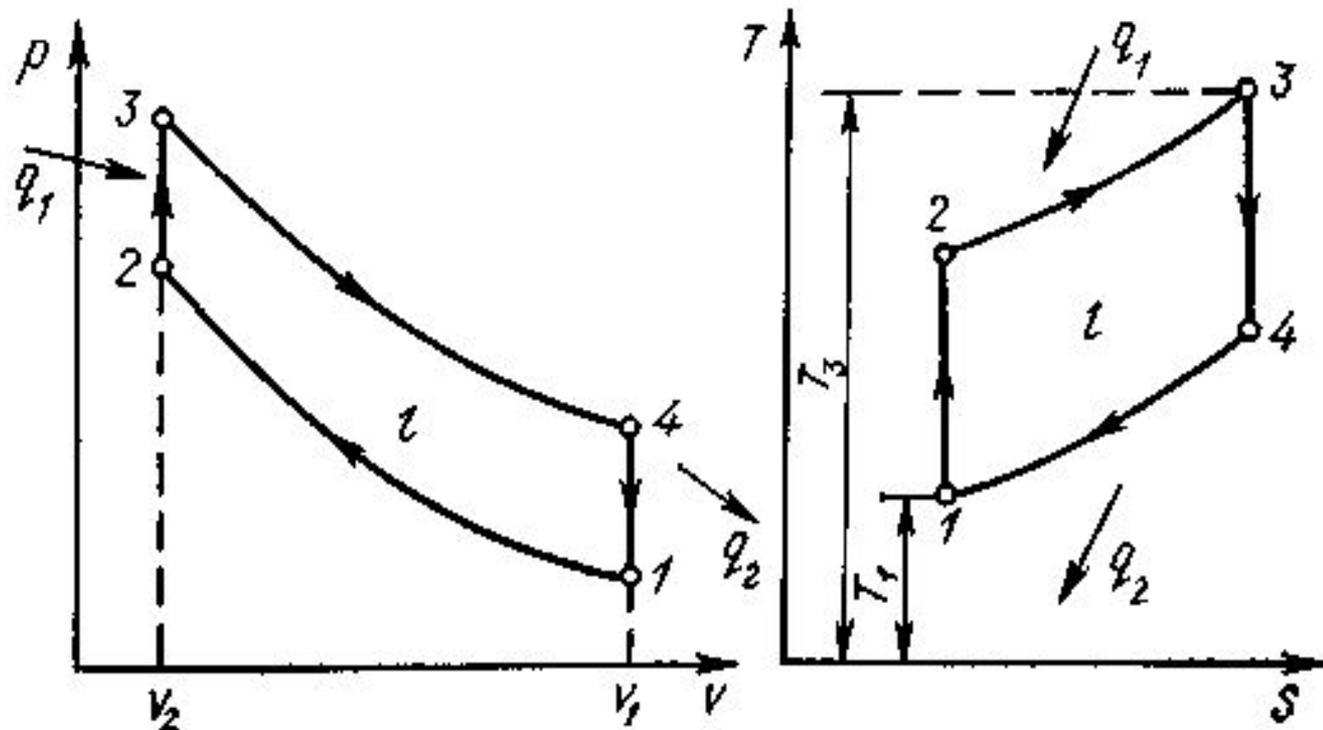
3) определяются различные характеристики цикла: степень сжатия, степень повышения давления, степень предварительного расширения и т.д.

4) определяется количество подведенной  $q_1$  и отведенной  $q_2$  теплоты и работа цикла, вычисляется термический КПД цикла.



**0-1:** всасывание горючей смеси (не т/д процесс),  
**1-2:** сжатие горючей смеси (поршень движется от нижней мёртвой точке к верхней),

**2-3:** в точке 2 от электрической искры происходит мгновенное воспламенение горючей смеси, в процессе 2-3 давление и температура резко возрастают,  
**3-4:** процесс расширения продуктов сгорания,  
**4-0:** в точке 4 происходит открытие выхлопного клапана, процесс 3-4 — удаление продуктов сгорания из цилиндра (не т/д процесс).



Цикл двигателя Отто

1-2: сжатие идеального газа по адиабате 1-2,

2-3: в изохорном процессе рабочему телу от внешнего источника передается количество теплоты  $q_1 = c_v(T_3 - T_2)$ ,

3-4: в адиабатном процессе 3-4 рабочее тело расширяется до первоначального объема  $v_4 = v_1$ ,

4-1: в изохорном процессе 4-1 рабочее тело возвращается в исходное состояние с отводом от него теплоты

$q_2 = c_v(T_4 - T_1)$  в теплоприемник.

Параметрами цикла Отто являются степень сжатия

$$\varepsilon = v_1/v_2$$

и степень повышения давления

$$\lambda = p_3/p_2.$$

Термический КПД цикла Отто:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}.$$

Теоретическая работа 1 кг рабочего вещества в идеальном цикле Отто равна разности работ адиабатного расширения (3 - 4) и адиабатного сжатия (1 - 2):

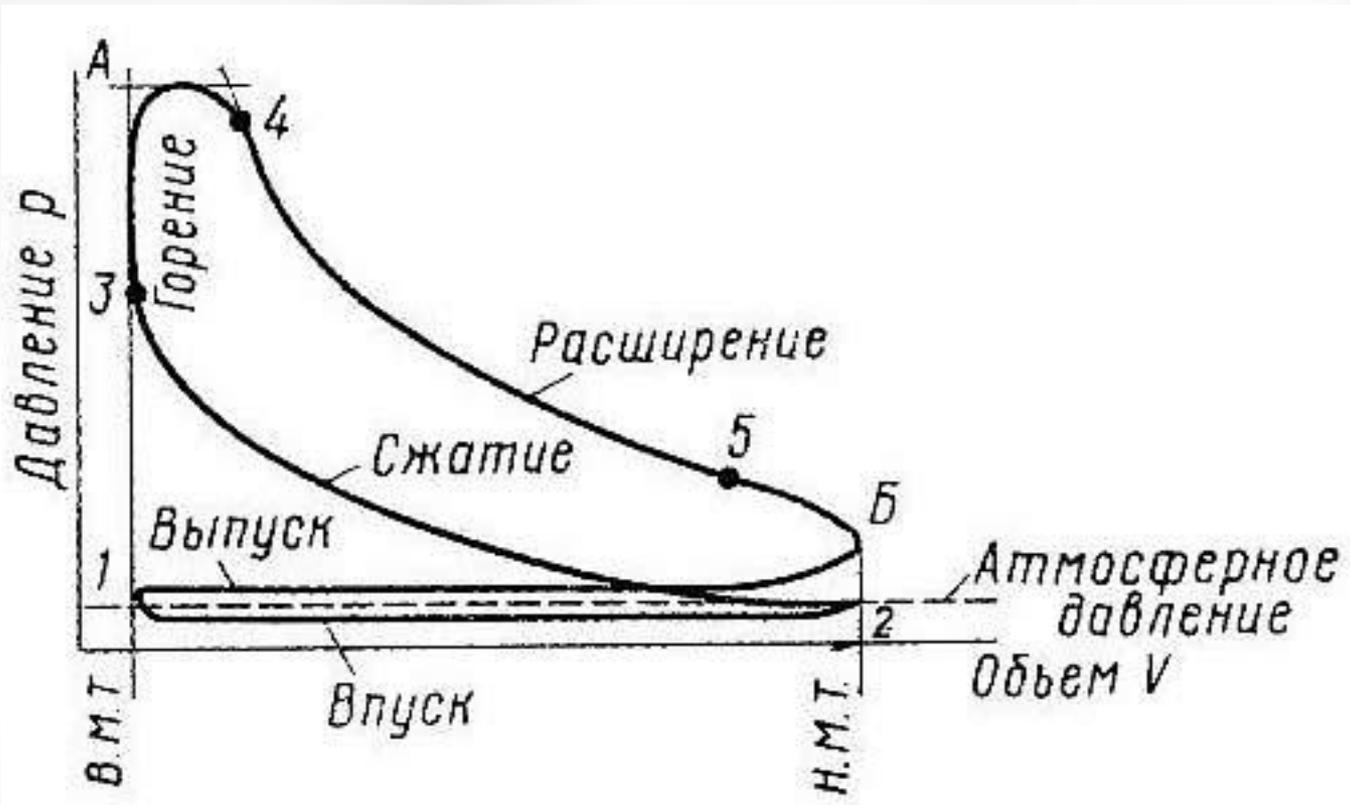
$$l = l_{3-4} - l_{1-2} = \frac{R}{k-1} [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)]$$
$$= c_v (T_3 - T_2) \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\right).$$

Термический КПД  $\eta_t$  цикла Отто тем больше, чем выше степень сжатия  $\epsilon$  и показатель адиабаты  $k$ .

Степень сжатия в карбюраторных двигателях не превышает 7-12.

Карбюраторные двигатели (цикла Отто), применяются в легковых и грузовых автомашинах и на самолетах с поршневыми двигателями.

## Индикаторная диаграмма двигателя Дизеля



Двигатели с подводом теплоты при постоянном давлении (с постепенным сгоранием) имеют ряд преимуществ:

- 1) за счет отдельного сжатия топлива и воздуха можно достигать больших степеней сжатия (до 20),
- 2) воздух при высоких давлениях имеет температуру, достаточную для самовоспламенения топлива (не требуются запальные приспособления),
- 3) можно использовать любое дешевое жидкое топливо: мазут, смолы и т.д.

# Тепло

# Техника

Цикл с подводом тепла при  $P = \text{const}$

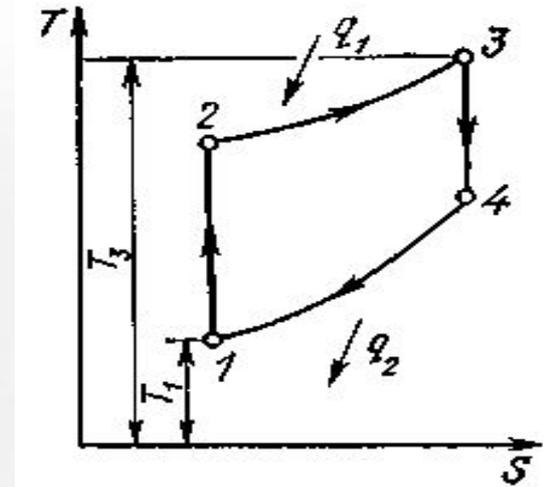
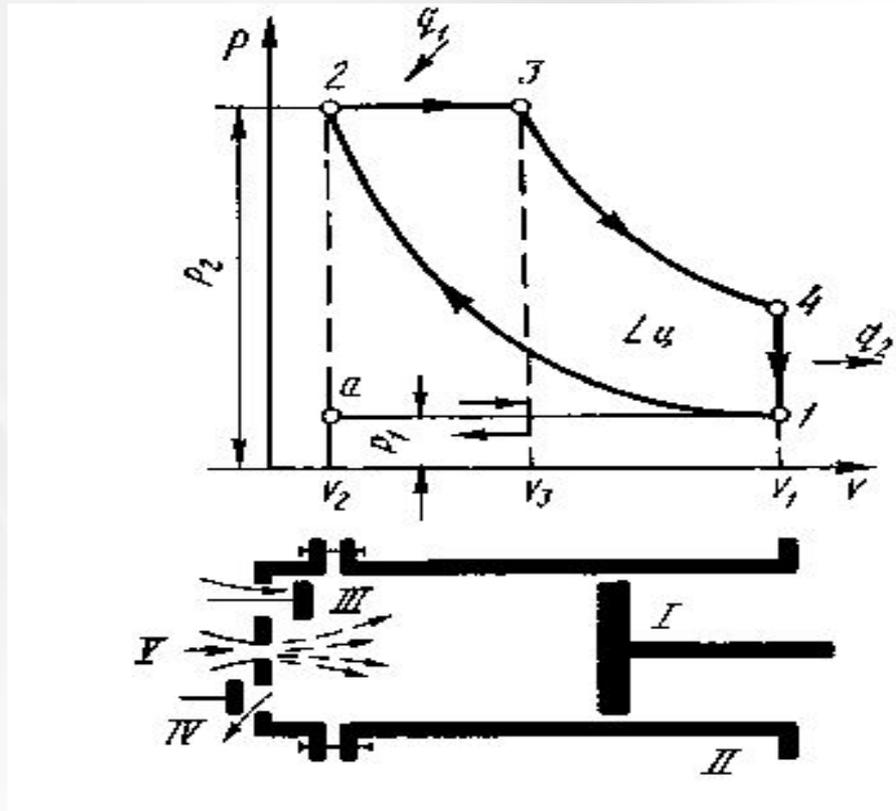


Схема двигателя Дизеля

Цикл Дизеля состоит из адиабатного сжатия (1 - 2) воздуха, изобарного (2 - 3) подвода теплоты  $q_1$ , адиабатного расширения (3 - 4) продуктов сгорания и изохорного (4 - 1) отвода теплоты  $q_2$ .

Параметрами цикла Дизеля являются степень сжатия  $\varepsilon = v_1/v_2$  и степень предварительного расширения

$$\rho = v_3/v_2.$$

Количество подведенной теплоты  $q_1$  в изобарном процессе 2 - 3 равно

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2).$$

Количество отведенной теплоты  $q_2$  в изохорном процессе  $4 - 1$  составляет  $q_2 = c_v(T_4 - T_1)$ .

Термический КПД цикла Дизеля:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v}{c_p} \cdot \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}.$$

Выражая температуры  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_4$  через начальную температуру  $T_1$  и параметры цикла  $\varepsilon$  и  $\rho$ , получим:

$$\eta_t = 1 - \frac{\rho^{k-1}}{k(\rho - 1) \cdot \varepsilon^{k-1}}.$$

Термический КПД цикла с изобарным подводом тепла тем выше, чем больше степень сжатия  $\varepsilon$  и чем меньше степень предварительного расширения  $\rho$ .

Основным фактором, определяющим экономичность цикла Дизеля, является степень сжатия  $\varepsilon$ , с увеличением которой термический КПД возрастает.

Теоретическая работа 1 кг рабочего вещества в идеализированном цикле Дизеля:

$$l = \frac{RT_1}{k-1} \cdot [k\varepsilon^{k-1} \cdot (\rho - 1) - (\rho^k - 1)].$$

# Тепло

# Техника

## Цикл со смешанным подводом тепла

В двигателях внутреннего сгорания, работающих с подводом тепла при  $p = \text{const}$  для распыления в воздухе жидкого топлива в форсунке предусматривается установка специального компрессора.

В двигателях же, работающих по циклу со смешанным подводом тепла для распыления топлива служит топливный насос (двигатели называют бескомпрессорными).

Когда поршень приходит в ВМТ, специальным топливным насосом в цилиндр под высоким давлением (30 - 40 МПа) впрыскивается мелко распыленное жидкое топливо, которое самовоспламеняется.



Идеальный цикл состоит из следующих процессов:

а) адиабатного сжатия (процесс 1-2) Характеристикой его является степень сжатия:

$$\varepsilon = v_1 / v_2$$

б) изохорного (процесс 2-3), при котором рабочему телу сообщается тепло:

$$q_1 = c_v (T_2 - T_1),$$

Этот процесс характеризуется степенью повышения давления  $\lambda$ :

$$\lambda = p_3 / p_2$$

в) изобарного (процесс 3-3'), при котором происходит сообщение тепла.

$$q'_1 = c_p (T_{3'} - T_3),$$

г) адиабатного (процесс 3'-4) расширения со степенью расширения

$$\rho = v_3 / v_4,$$

д) изохорного (процесс 4 - 1), при котором давление, удельный объем и температура приобретают исходные значения.

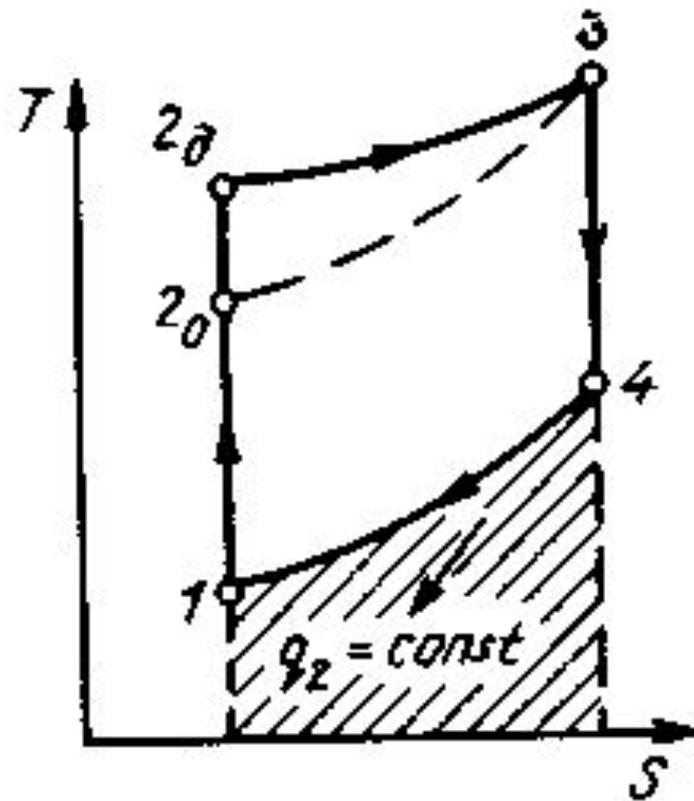
$$q_2 = c_v (T_4 - T_1),$$

Термический КПД цикла

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}.$$

Термический КПД цикла со смешанным подводом тепла тем больше, чем больше степень сжатия  $\varepsilon$  и степень повышения давления  $\lambda$ , и тем меньше, чем больше степень предварительного расширения  $\rho$ .

Сравним экономичность циклов Отто и Дизеля при максимальных давлениях и температурах (точка 3), т. е. в условиях одинаковых механических и термических напряжений. Начальные параметры рабочего вещества принимаются одинаковыми для обоих циклов (точка 1 также зафиксирована).



Сравнение циклов двигателей Отто и Дизеля

Из T-S диаграммы видно, что при одинаковом количестве отведенной теплоты  $q_2$  КПД цикла Дизеля выше КПД цикла Отто, т.к. полезная работа в цикле Дизеля получается больше, чем в цикле Отто (точка  $2_d$  принадлежит циклу Дизеля, а точка  $2_0$  - циклу Отто).

Термический КПД цикла со смешанным подводом тепла будет иметь промежуточное значение сравнительно с термическими КПД двух других циклов

# Тепло

# Техника

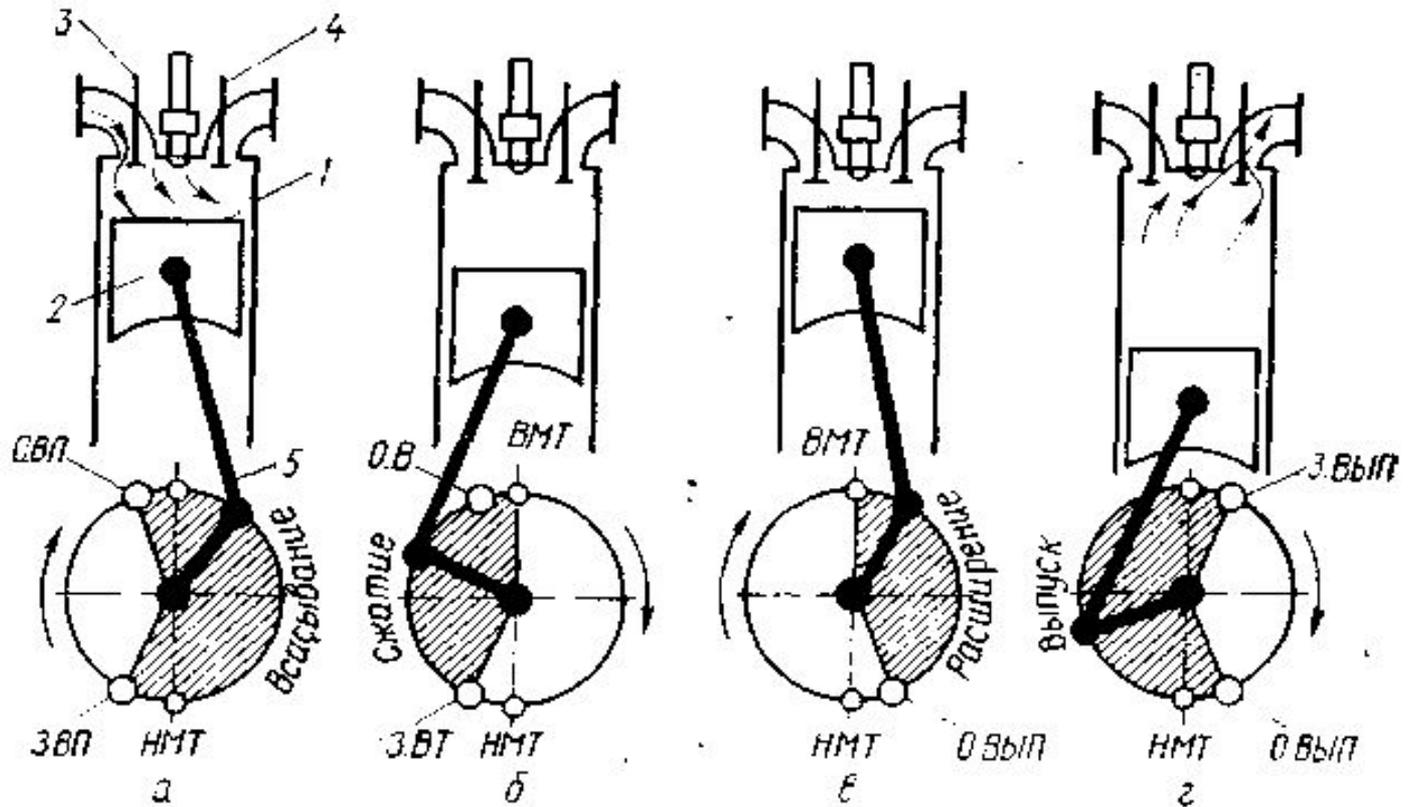


Схема работы четырехтактного двигателя.

- 1) невозможность осуществления в цилиндре полного адиабатного расширения продуктов сгорания до атмосферного давления, ( теряется полезная работа);
- 2) наличие частей с возвратно-поступательным движением приводит к неизбежной неравномерности работы, что делает невозможным повышение быстроходности двигателя и сосредоточение больших мощностей в одном агрегате при умеренном габарите и сравнительно небольшой массе.