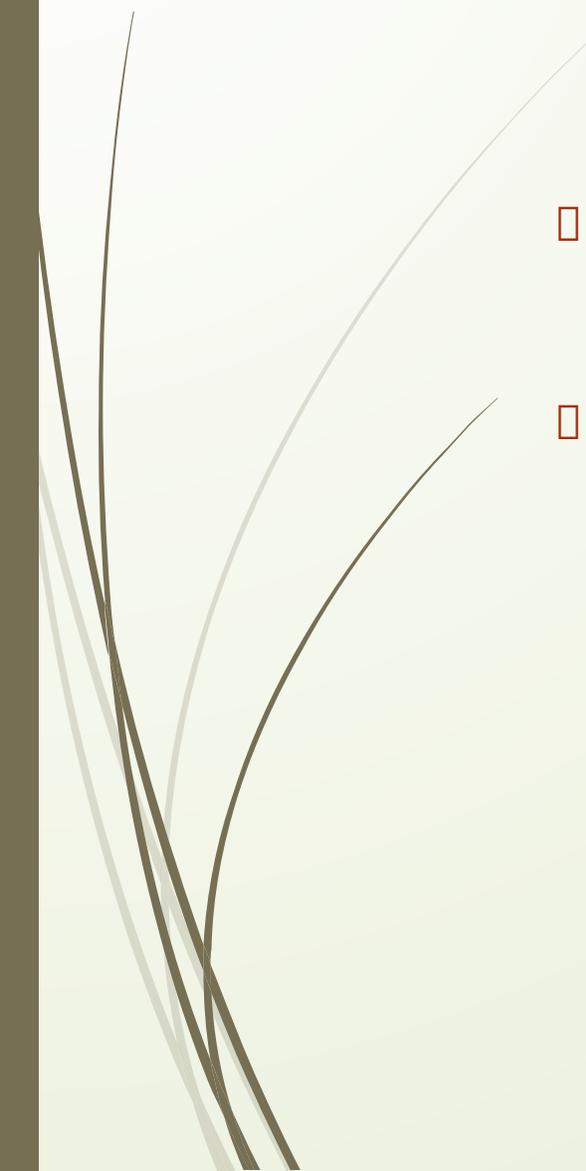


# Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания

Выполнили студенты группы БСбз-16-1:  
Маслов И.В. и Ткачев Е.А.



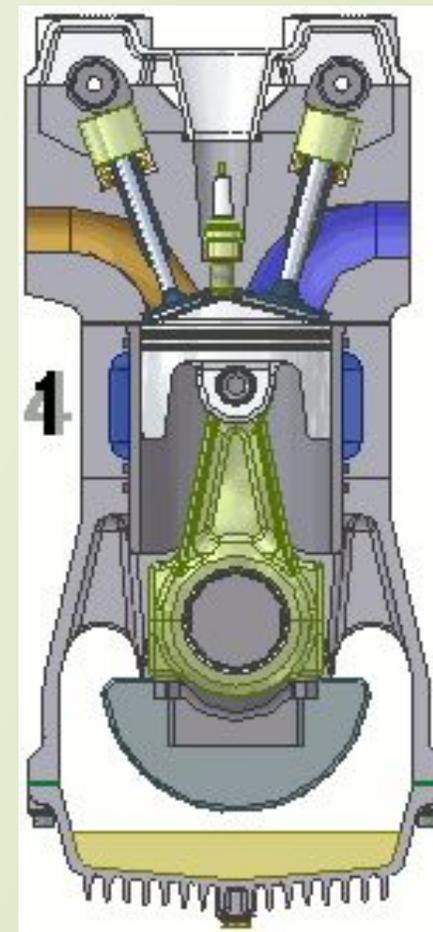
# Основные понятия

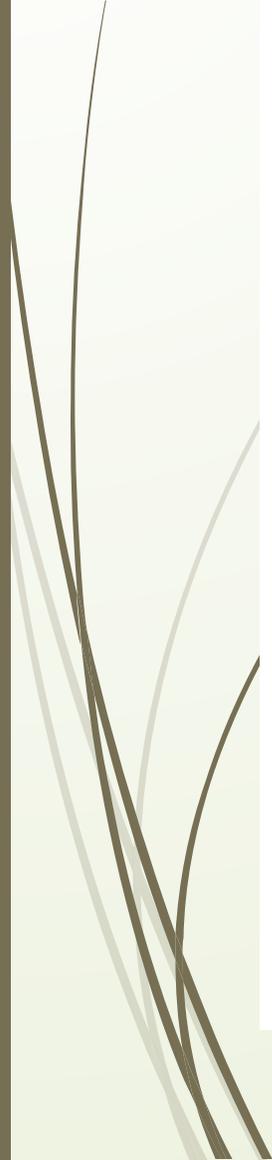


- Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) — это тепловая машина, в которой подвод теплоты к рабочему телу осуществляется за счет сжигания топлива внутри самого двигателя.
- Рабочим телом в таких двигателях является на первом этапе воздух или смесь воздуха с легко воспламеняемым топливом, а на втором этапе — продукты сгорания. В таких двигателях рабочее тело можно рассматривать как идеальный газ.

# Работа двигателя внутреннего сгорания

- Принцип работы ДВС основан на эффекте теплового расширения газов, возникающего при сгорании топливно-воздушной смеси и обеспечивающего перемещение поршня в цилиндре.
- Работа поршневого ДВС осуществляется циклически. Каждый рабочий цикл происходит за два оборота коленчатого вала и включает четыре такта (четырёхтактный двигатель): впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск.
- Во время тактов впуск и рабочий ход происходит движение поршня вниз, а тактов сжатие и выпуск – вверх. Рабочие циклы в каждом из цилиндров двигателя не совпадают по фазе, чем достигается равномерность работы ДВС. В некоторых конструкциях двигателей внутреннего сгорания рабочий цикл реализуется за два такта – сжатие и рабочий ход (двухтактный двигатель).





# Такты ДВС

- **На такте впуск** впускная и топливная системы обеспечивают образование топливно-воздушной смеси. В зависимости от конструкции смесь образуется во впускном коллекторе (центральный и распределенный впрыск бензиновых двигателей) или непосредственно в камере сгорания (непосредственный впрыск бензиновых двигателей, впрыск дизельных двигателей). При открытии впускных клапанов газораспределительного механизма воздух или топливно-воздушная смесь за счет разрежения, возникающего при движении поршня вниз, подается в камеру сгорания.
- **На такте сжатия** впускные клапаны закрываются, и топливно-воздушная смесь сжимается в цилиндрах двигателя.
- **Такт рабочий ход** сопровождается воспламенением топливно-воздушной смеси (принудительное или самовоспламенение). В результате возгорания образуется большое количество газов, которые давят на поршень и заставляют его двигаться вниз. Движение поршня через кривошипно-шатунный механизм преобразуется во вращательное движение коленчатого вала, которое затем используется для движения автомобиля
- **При такте выпуск** открываются выпускные клапаны газораспределительного механизма, и отработавшие газы удаляются из цилиндров в выпускную систему, где производится их очистка, охлаждение и снижение шума. Далее газы поступают в атмосферу.

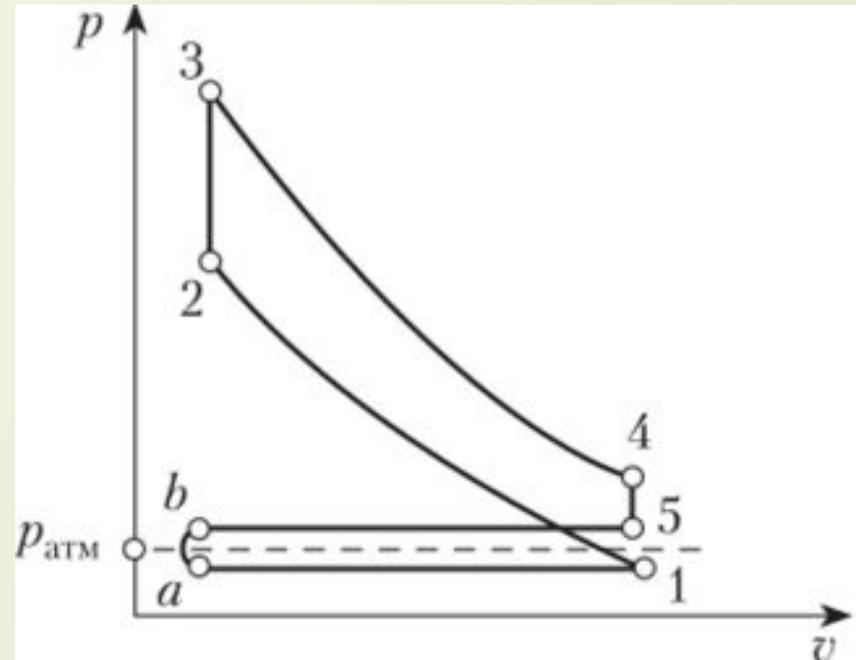


# Циклы ДВС классифицируют по способу подвода теплоты

- Цикл со сгоранием при  $V=\text{const}$  (цикл Отто), реализуемый в карбюраторах ДВС;
- Цикл со сгоранием при  $p=\text{const}$  (цикл Дизеля), реализуемый в компрессорных дизелях;
- Цикл со смешанным сгоранием (при  $V=\text{const}$ , а затем при  $p=\text{const}$ ), реализуемый в бескомпрессорных дизелях (цикл Тринклера, иногда называемый циклом Сабатэ).

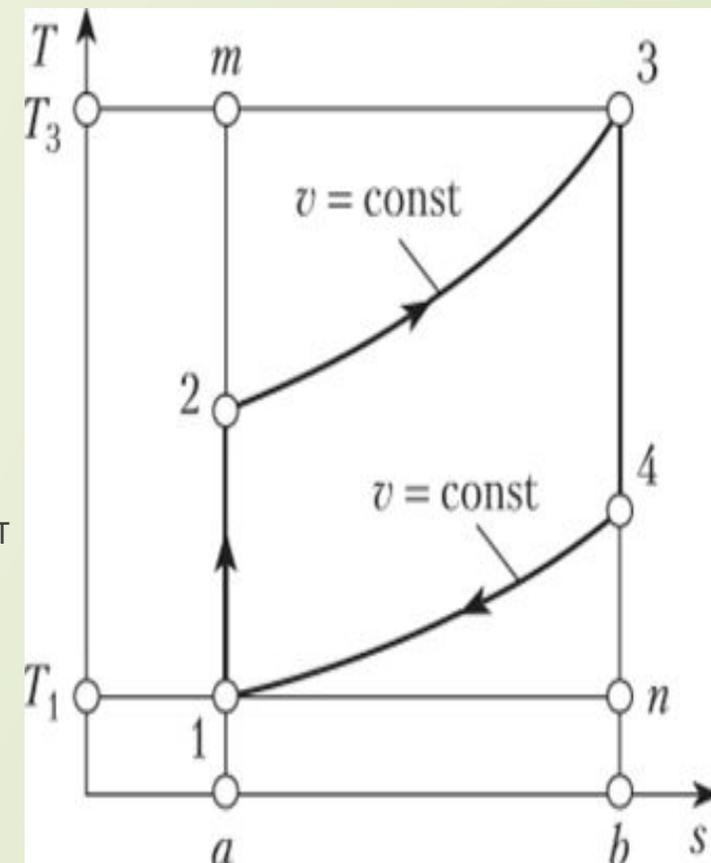
# Цикл с изохорным подводом теплоты – Цикл Отто.

- В цикле ДВС со сгоранием при  $K = \text{const}$  при движении поршня вправо происходит всасывание горючей смеси через клапан III (процесс а-1). При движении поршня влево (клапаны III и IV закрыты) происходит адиабатное сжатие смеси (процесс 1-2). В точке 2 с помощью электрической свечи V горючая смесь поджигается. Сгорание происходит при  $V = \text{const}$  (процесс 2-3). Образовавшиеся газы, расширяясь, перемещают поршень вправо (адиабатный процесс 3-4), после чего открывается клапан IV, давление в цилиндре II падает (процесс 4-5) и при движении поршня справа налево газы выталкиваются из цилиндра (процесс 5-6).



# Термодинамический анализ

- В отношении термодинамического анализа такой цикл эквивалентен разомкнутому циклу Отто:
  - 1—2 — изоэнтропное сжатие;
  - 2—3 — изохорный нагрев;
  - 3—4 — изоэнтропное расширение;
  - 4—1 — изохорное охлаждение.
- Различают также анализ цикла с учетом зависимости теплоемкости воздуха от температуры и анализ с использованием постоянной теплоемкости. В последнем случае в расчете используется воздух с теплоемкостью при комнатной температуре, так называемый «холодный воздух». Разумеется, анализ с использованием таких допущений позволяет получить только качественные оценки реальных процессов.  $T-s$  диаграмма модельного цикла Отто изображена на рис. Поскольку модельный цикл Отто состоит из внутренне обратимых процессов, площади циклов на  $p-v$  и  $T-s$  диаграммах можно интерпретировать как суммарную работу и теплоту цикла соответственно.
- Площадь под кривой 2—3 на  $T-s$  диаграмме равна количеству теплоты, подведенной к системе, а площадь под кривой 4—1 равна теплоте, отведенной от системы, на единицу массы рабочего тела. Площадь под кривой 1—2 на  $p-v$  диаграмме равна работе сжатия, а площадь под кривой 3—4 равна работе расширения на единицу массы рабочего тела.



# Анализ цикла Отто.

- Модельный цикл Отто включает два процесса, в которых совершается работа, но отсутствует теплообмен, — процессы 1—2 и 3—4, и два процесса, в которых присутствует теплообмен, но работа не совершается, — процессы 2—3 и 4—1. Соответствующие выражения для расчета работы и количества переданной теплоты для последующего использования удобно представить в виде

$$\frac{W_{12}}{m} = u_2 - u_1; \quad \frac{W_{34}}{m} = u_3 - u_4;$$

$$\frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2; \quad \frac{Q_{41}}{m} = u_4 - u_1.$$

- Очевидно, что в данной форме записи и работа и количество переданной теплоты положительны.

Работа цикла на единицу массы равна

$$\frac{W_{\text{цикл}}}{m} = \frac{W_{34}}{m} - \frac{W_{12}}{m} = (u_3 - u_4) - (u_2 - u_1).$$

$$\frac{W_{\text{цикл}}}{m} = \frac{Q_{23}}{m} - \frac{Q_{41}}{m} = (u_3 - u_2) - (u_4 - u_1).$$

- Полагая  $k = c / c_v = \text{const}$ , для изэнтропного процесса справедливо

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = r^{k-1}; \quad \frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = \frac{1}{r^{k-1}},$$

- где  $r = v_1 / v_2 = v_4 / v_3$  — степень сжатия.

Как следует из приведенных соотношений,  $T_2 / T_x = T_3 / T_A$  и  $T_A / T_x = T_3 / T_2$ . Таким образом, термический КПД цикла Отто, в котором теплоемкость рабочего тела постоянна, можно рассчитать по формуле

$$\eta = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}, \quad \eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}.$$

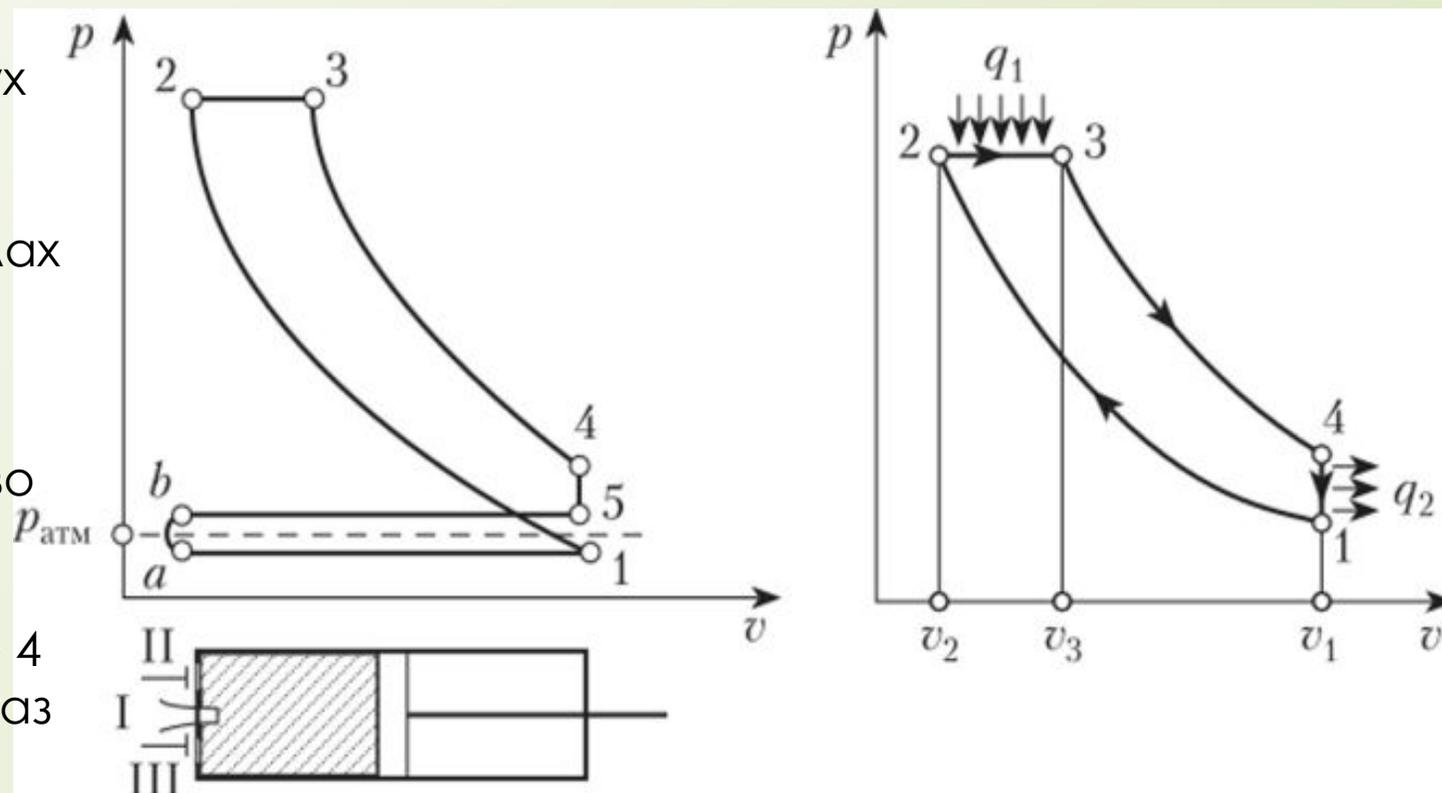
- Среднее эффективное давление модельного цикла Отто равно

$$p_{сэд} = \frac{W_{цикл}}{V_1 - V_2} = \frac{W_{цикл}}{V_1(1 - V_2/V_1)} = \frac{W_{цикл}}{V_1(1 - 1/r)}.$$

# Цикл с изобарным подводом теплоты – Цикл Дизеля

Цикл Дизеля. Степень сжатия  $\gamma$  в цикле поршневого двигателя внутреннего сгорания можно повысить, если сжимать не горючую смесь, а чистый воздух. При этом горючее вводится в цилиндр под поршень после окончания процесса сжатия. Эта идея положена в основу цикла Дизеля, который был предложен в 1897 г.  $p$ — $v$  диаграмма цикла Дизеля показана на рисунке:

$a$ — $1$  — в цилиндр поступает воздух извне;  $1$ — $2$  — адиабатическое сжатие до давления  $p_2$ , степень сжатия газа варьируется в пределах 12—20;  $2$ — $3$  — расширение и одновременный впрыск топлива (керосин, соляровое масло), за счет высокой температуры топливо воспламеняется и сгорает при постоянном давлении;  $3$ — $4$  — адиабатное расширение, в точке 4 открывается выхлопной клапан и газ выталкивается из цилиндра, процесс  $5$ — $b$



- Так же, как и в случае цикла Отто, для удобства анализа открытый цикл Дизеля заменяется эквивалентным ему закрытым циклом.

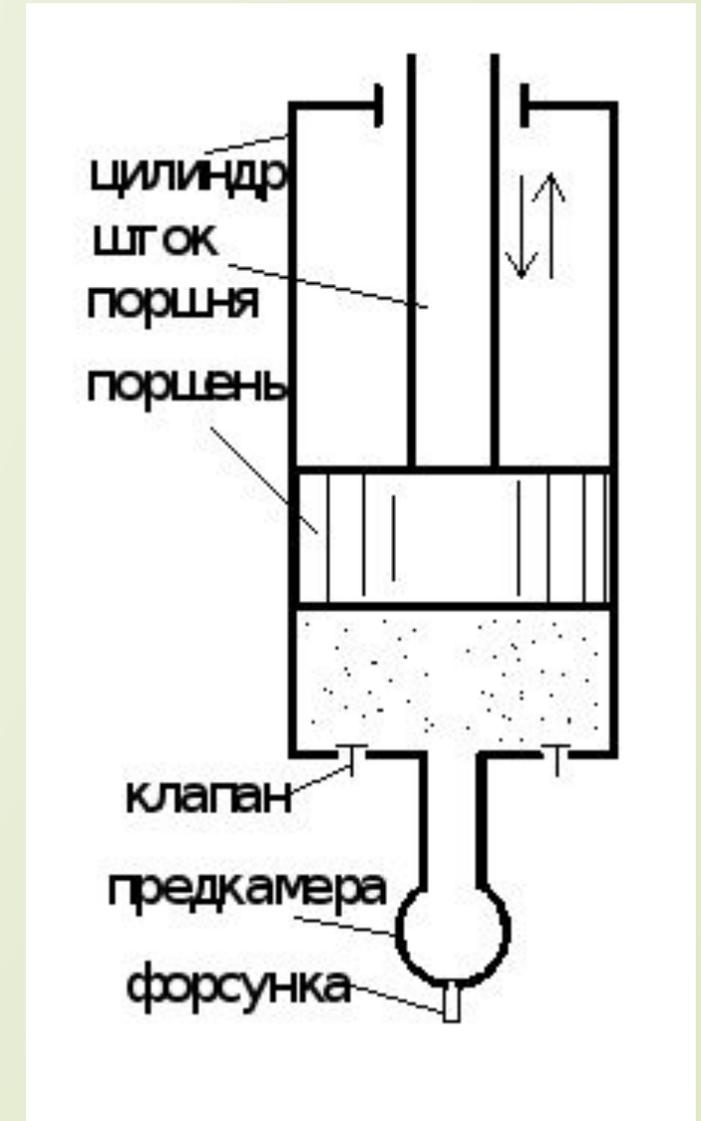
Идеализированный цикл Дизеля состоит из двух адиабат (1—2 и 3—4), изобары 2—3 и изохоры 4—1.

Анализ цикла Дизеля. На участке 2—3 совершается работа и к рабочему телу подводится тепло:

$$\frac{W_{23}}{m} = \int_2^3 p dv = p_2(v_3 - v_2); m(u_3 - u_2) = Q_{23} - W_{23},$$
$$\frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2 + p(v_3 - v_2) = (u_3 + pv_3) - (u_2 + pv_2) = h_3 - h_2; \frac{Q_{41}}{m} = u_4 - u_1.$$

# Цикл со смешанным подводом теплоты

- Густавом Васильевичем Тринклером в 1904 году, объединяет положительные свойства циклов Отто и Дизеля. Цикл Тринклера используется в большинстве современных быстроходных дизелей.
- Вместо компрессора Тринклер применил механическое сжатие топлива до высоких давлений (30..170МПа) с помощью топливного насоса. Сжатое насосом топливо впрыскивается в специальную предкамеру или через форсунку в головку цилиндра, где оно самовоспламеняется и частично быстро сгорает при  $V=\text{const}$ , а затем догорает при  $P=\text{const}$



# Термодинамические процессы идеального цикла ДВС со смешанным подводом

□ Такт 1:

1-2 - адиабатное сжатие воздуха в цилиндре до  $\varepsilon = 14..22$  для достижения надежного самовоспламенения топлива при контакте со сжатым воздухом в точке 2;

2-3 – изохорный подвод первой части теплоты  $q_{1v}$  от быстрого сгорания части топлива в предкамере или в головке цилиндра в смеси со сжатым воздухом;

□ Такт 2:

3-4 – изобарный подвод второй части теплоты  $q_{1p}$  от догорания в цилиндре оставшейся части топлива;

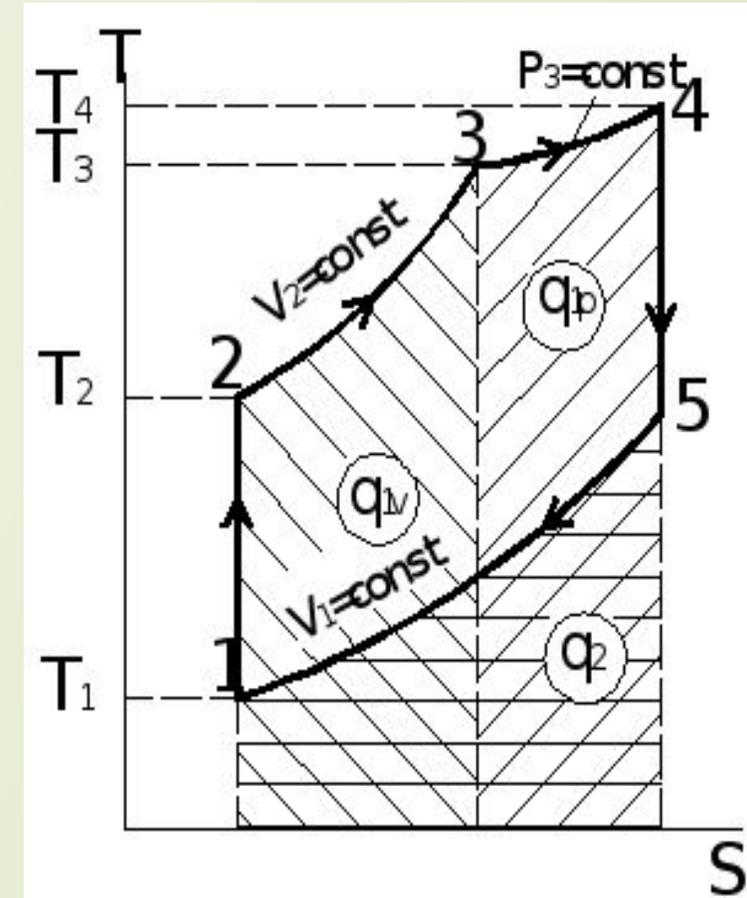
4-5 – адиабатное расширение продуктов сгорания в цилиндре;

□ Такт 3-4:

5-1 – изохорный отвод теплоты  $q_2$  (выхлоп) с возвращением рабочего тела в исходное состояние.

( В индикаторной диаграмме процесс 5-1 совершается за два такта (хода поршня); 5-0 – выхлоп продуктов сгорания; 0-1- всасывание в цилиндр атмосферного воздуха.)

## ТЕПЛОТЫ.



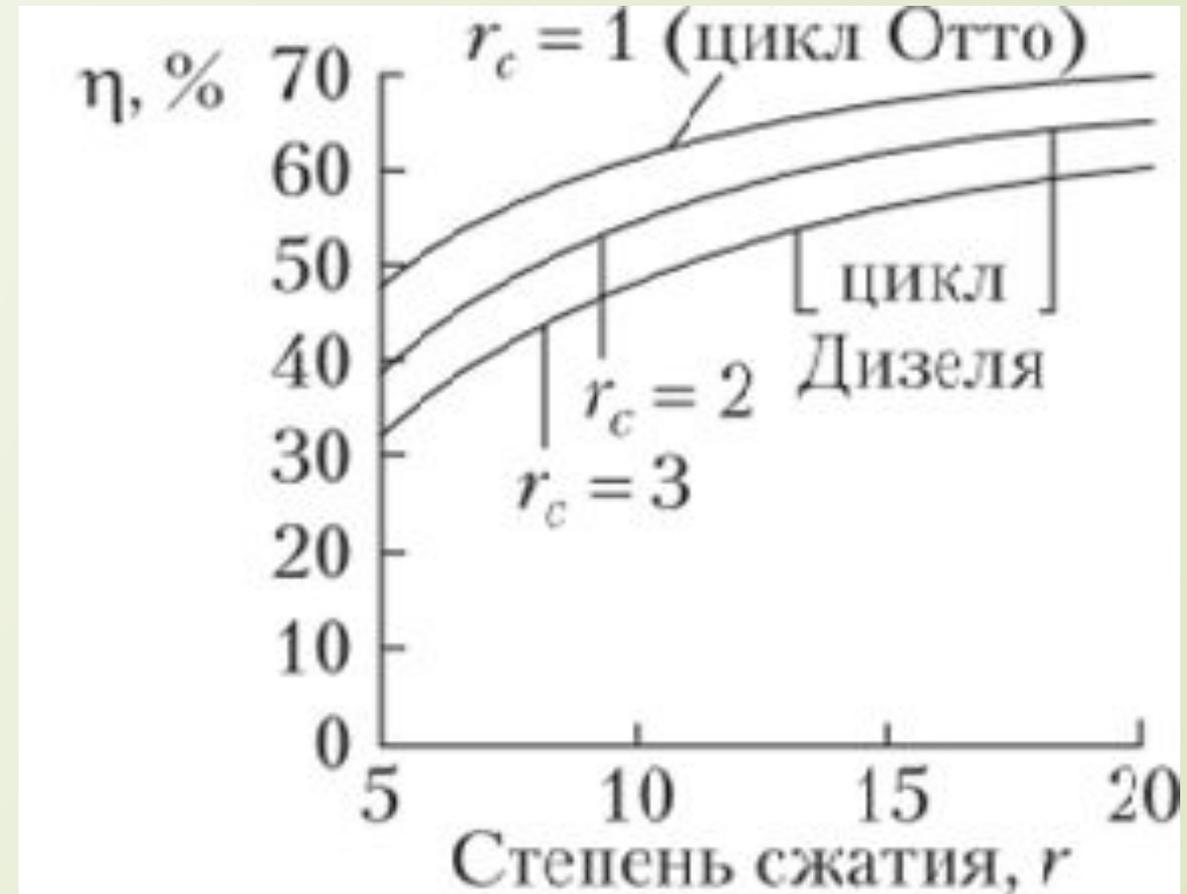
- В отличие от дизельного двигателя, двигатель со смешанным сгоранием не нуждается в компрессоре высокого давления для распыления жидкого топлива. Введенное в форкамеру при сравнительно низком давлении топливо распыляется струей сжатого воздуха, который поступает из основного цилиндра.

Термодинамический анализ цикла со смешанным сгоранием.

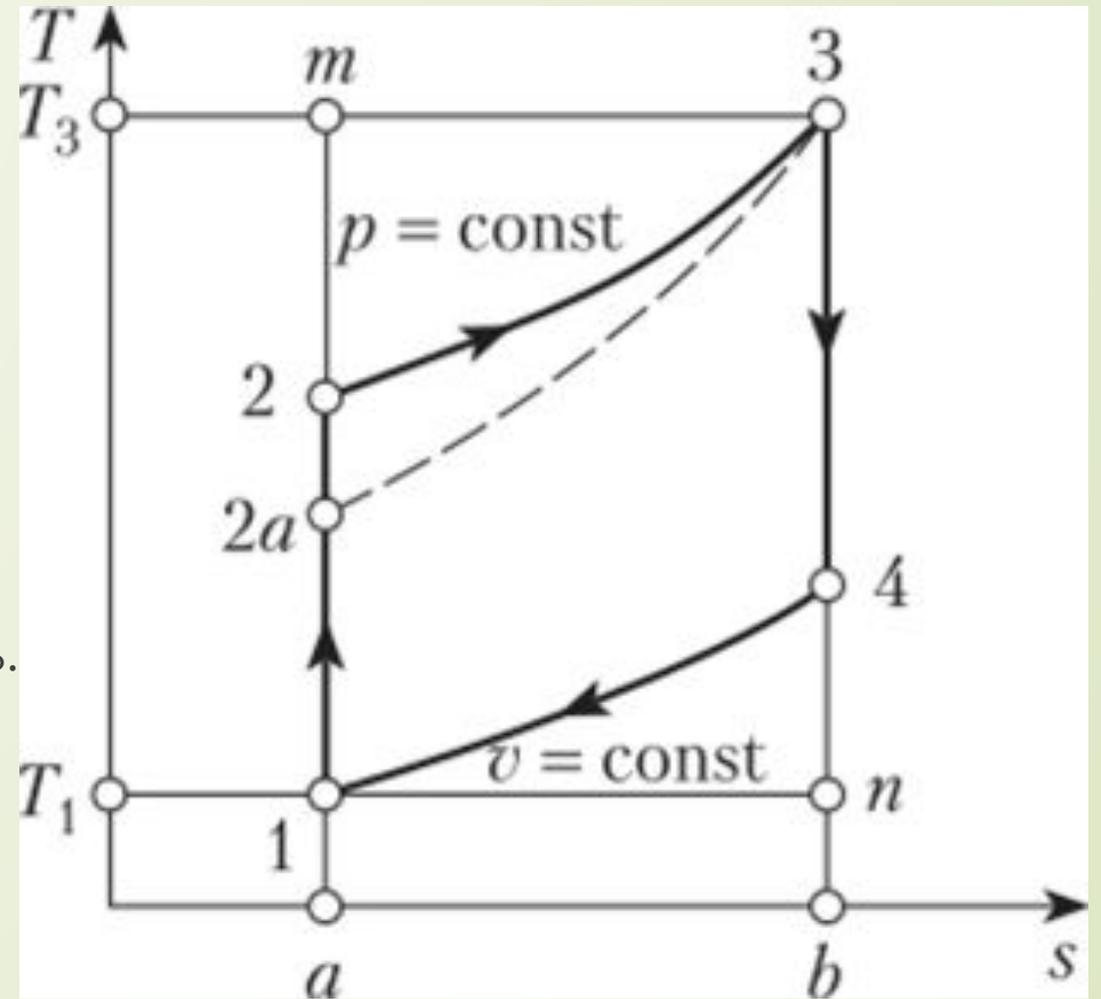
$$\frac{W_{12}}{m} = u_2 - u_1; \quad \frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2, \quad \frac{W_{34}}{m} = p(v_4 - v_3);$$
$$\frac{Q_{34}}{m} = h_4 - h_3; \quad \frac{W_{45}}{m} = u_4 - u_5; \quad \frac{Q_{51}}{m} = u_5 - u_1.$$

# КПД

- Сравнение термических к. п. д. трех типов двигателей при одинаковой максимальной температуре показывает, что наибольший к. п. д. имеет цикл Дизеля, а наименьший — цикл Отто.
- Зависимость термических КПД циклов Отто и Дизеля от степени сжатия  $r$ . Как видно из этого рисунка, при одной степени сжатия  $r$  КПД цикла Дизеля меньше КПД цикла Отто. Если же сравнивать циклы при условии равенства максимальной температуры цикла  $T_3$ , то термический КПД цикла Дизеля будет выше термического КПД цикла Отто.



- В частности, это видно из  $T-s$  диаграммы. Штриховой линией  $2a-3$  нанесена изохора цикла Отто. Объяснить это можно так. Поскольку диаграмме изохора проходит более круто, чем изобара. Это означает, что степень заполнения цикла Дизеля выше, чем цикла Отто.
- Поскольку топливо в камеру подается под давлением, двигатель, работающий по циклу Дизеля, потребляет дополнительную мощность. Кроме того, используемое в дизельных двигателях топливо сгорает относительно медленно, поэтому такие двигатели относительно тихоходны.





**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!!!**