

ТНис 09

- Двигатели внутреннего сгорания (ДВС)
- Теоретические циклы ДВС
- Сравнение циклов ДВС

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС)

ДВС так названы потому, что жидкое или газообразное топливо в смеси с воздухом сгорает внутри цилиндров.

ДВС делятся на карбюраторные, работающие на легких топливах (бензин, керосин) и дизельные.

В карбюраторном ДВС горючая смесь (топлива с воздухом) готовится вне цилиндра (в карбюраторе) и после сжатия ее в цилиндре смесь воспламеняется электрической искрой от запальной свечи.

Дизельные ДВС

Теоретическим циклом карбюраторного ДВС является цикл Отто (с изохорным подводом теплоты).

Дизели, работающие на тяжелых топливах (соляровое масло), называются двигателями с самовоспламенением от сжатия.

В сжатый в цилиндре горячий воздух впрыскивается через форсунку мелко распыленное топливо, капли которого при контакте с раскаленным воздухом самовоспламеняются.

Четырех- и двухтактные ДВС

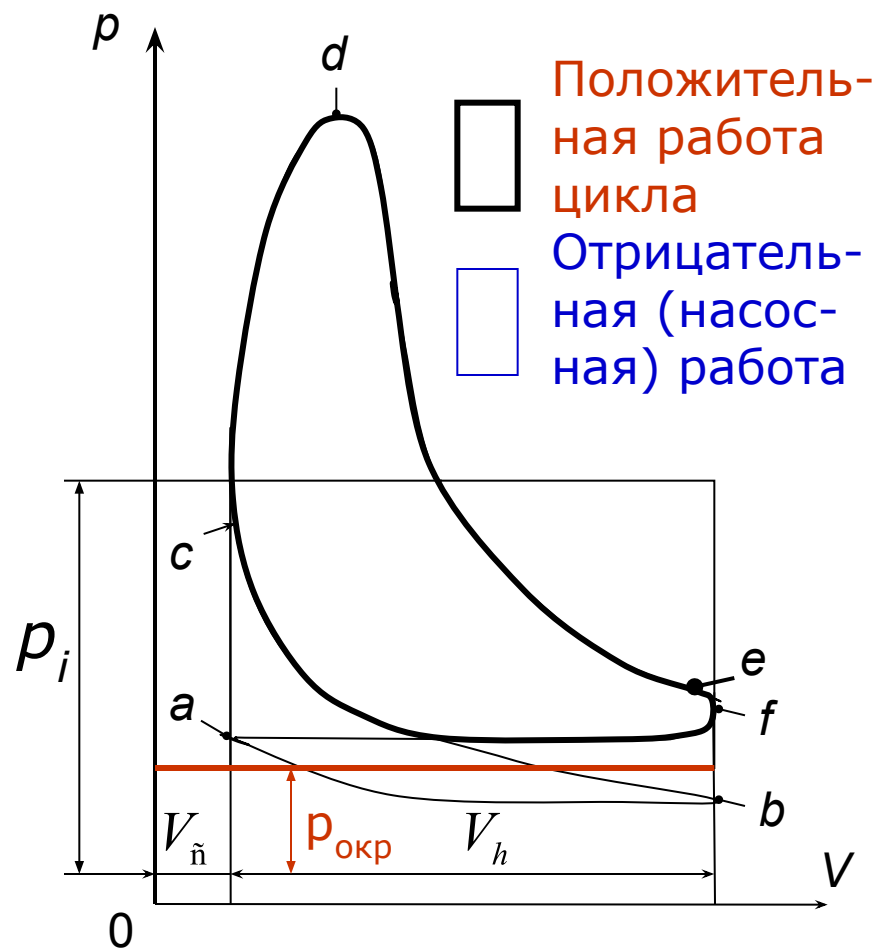
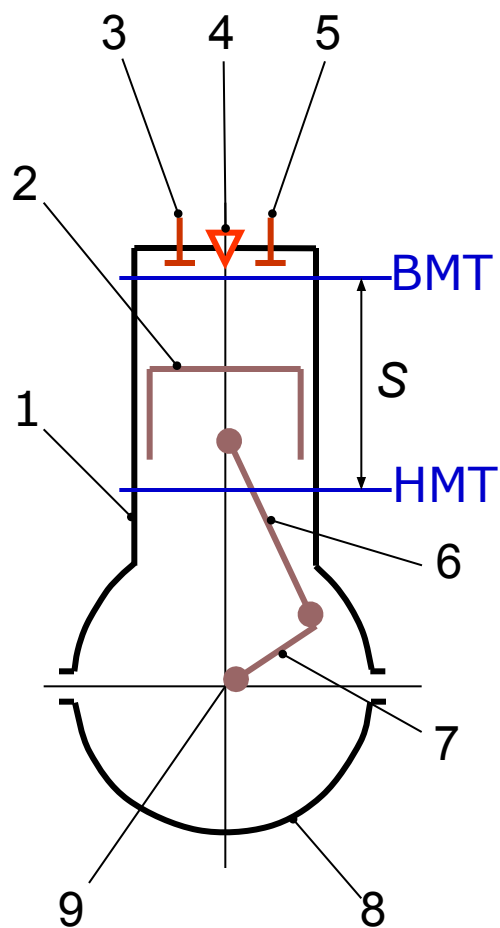
Теоретическими циклами дизельных ДВС являются цикл Дизеля (с изобарным подводом теплоты) и цикл Тринклера (со смешанным подводом теплоты).

Все эти ДВС могут быть четырех- и двухтактными.

Четырехтактными называются двигатели, в которых рабочий процесс совершается за четыре хода поршня (такта) и два оборота коленчатого вала.

Двухтактными называются двигатели, в которых рабочий процесс совершается за два хода поршня и один оборот коленчатого вала.

Рабочий процесс 4-тактного ДВС



Обозначения

Верхнее положение поршня – **верхняя мертвая точка (ВМТ)**;

самое нижнее положение – **нижняя мертвая точка (НМТ)**.

В мертвых точках скорость поршня равна нулю, так как в них направление движения поршня изменяется на обратное.

1 – цилиндр; 2 – поршень; 3, 5 – впускной и выпускной клапаны; 4 – электрическая, запальная свеча в карбюраторном двигателе или топливная форсунка – в дизельном; 6 – шатун; 7 – кривошип радиусом R ; 8 – картер; 9 – вал двигателя.

Определения

Кривошипно-шатунный механизм служит для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение вала двигателя.

Расстояние от ВМТ до НМТ называют ходом поршня S .
Ход поршня равен удвоенному радиусу кривошипа $S=2R$.

Объем, описываемый поршнем в цилиндре ДВС при его движении между ВМТ и НМТ, называют **рабочим объемом цилиндра** диаметром D :

$$V_h = \pi D^2 S / 4$$

Индикаторная диаграмма 4-тактного ДВС

Литражом называют сумму рабочих объемов z цилиндров двигателя, выраженную в литрах или см^3 : $V_{\text{л}} = zV_h$.

На правой части предыдущего слайда изображена **индикаторная диаграмма 4-тактного ДВС (реальный цикл)**.

Верхняя, заштрихованная площадь диаграммы представляет собой положительную работу цикла, полученную в следствии преобразования тепловой энергии продуктов сгорания в механическую энергию движения поршня.

I и II такты

I такт – всасывание (*ab*): поршень движется от ВМТ к НМТ; всасывающий клапан 3 открыт;

в карбюраторном ДВС в цилиндр всасывается горючая смесь, приготовленная в карбюраторе; в дизеле – чистый воздух.

II такт – сжатие (*bc*): поршень движется от НМТ к ВМТ; клапаны 3 и 5 закрыты;

в карбюраторном ДВС в цилиндре сжимается горючая смесь, в дизеле – воздух.

Процесс в камере сгорания

В ВМТ в карбюраторном ДВС сжатая горючая смесь поджигается от запальной свечи 4,

в дизеле в сжатый воздух впрыскивается через форсунку топливо, которое при контакте с раскаленным воздухом самовоспламеняется.

При горении топлива в камере сгорания V_c давление и температура газов возрастает (процесс *cd*).

III такт – рабочий ход

В точке «с» газы обладают тепловой энергией.

Они давят на поршень, заставляя его перемещаться от ВМТ к НМТ

(cd) – рабочий ход (III такт).

При этом тепловая энергия газов преобразуется в механическую энергию движения поршня.

Возвратно-поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение коленчатого вала (с помощью кривошипно-шатунного механизма).

Средне-индикаторное давление

В НМТ открывается выпускной клапан 5 и при движении поршня к ВМТ происходит **выпуск (*efa*)** газов в окружающую среду (**IV такт**).

Из индикаторной диаграммы можно найти

средне-индикаторное давление p_i ,

как некое условное постоянное давление, которое действовало бы на поршень в течение рабочего хода, совершая работу, равную полезной работе цикла.

Мощности ДВС

Зная средне-индикаторное давление p_i в Па, можно определить **индикаторную N_i** (внутреннюю) и **эффективную N_e** (на выходном валу) мощности двигателя, Вт:

$$N_i = \frac{p_i V_h \eta_m z 2n}{60\tau}$$

Здесь V_h – рабочий объем цилиндра, м³;
 z – число цилиндров;
 n – число оборотов в минуту двигателя;
 τ – коэффициент тактности ДВС ($\tau = 4$ для четырехтактного ДВС и $\tau = 2$ – для двухтактного);
 η_m – механический КПД двигателя.

Мощности и КПД ДВС

Эффективная мощность – это мощность на выходном валу двигателя, которая в генераторе может быть преобразована в электрическую.

Механический КПД учитывает потери на трение и привод вспомогательных механизмов:

$$\eta_m = N_e / N_j.$$

Эффективный КПД – это отношение эффективной мощности к теплоте, выделенной при сгорании топлива:

$$\eta_e = N_e / (BQ_H^p).$$

Тепловой баланс ДВС

Тепловой баланс ДВС в абсолютных единицах, кДж/кг:

$$Q_H^p = Q_e + Q_B + Q_G + Q_{\text{ост}},$$

где Q_H^p – низшая рабочая теплота сгорания топлива;

Q_e – полезно-использованная теплота
(преобразованная в эффективную мощность);

Q_B – потери с охлаждающей водой;

Q_G – потери с уходящими газами;

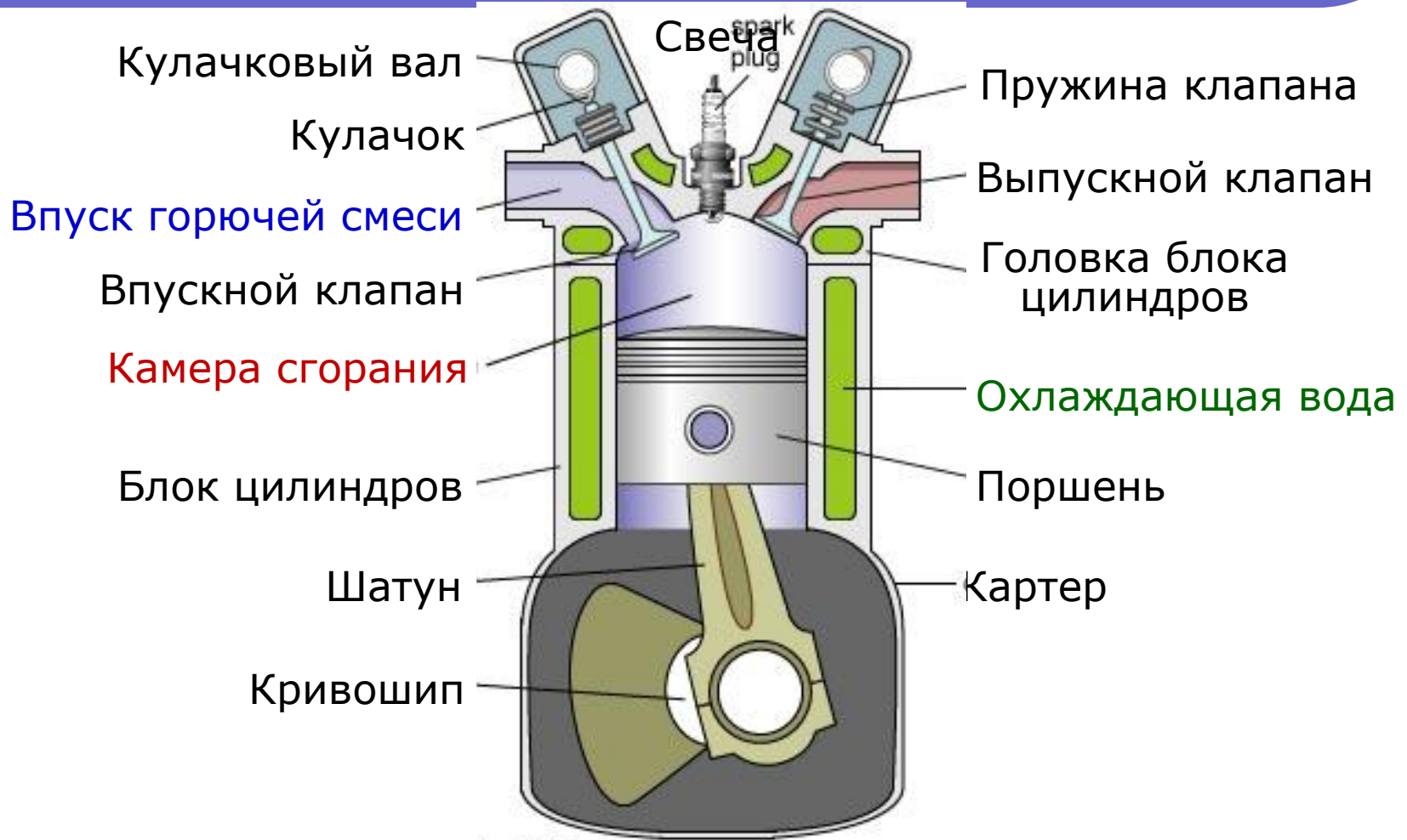
$Q_{\text{ост}}$ – остальные потери.

Тепловой баланс ДВС в относительных единицах:

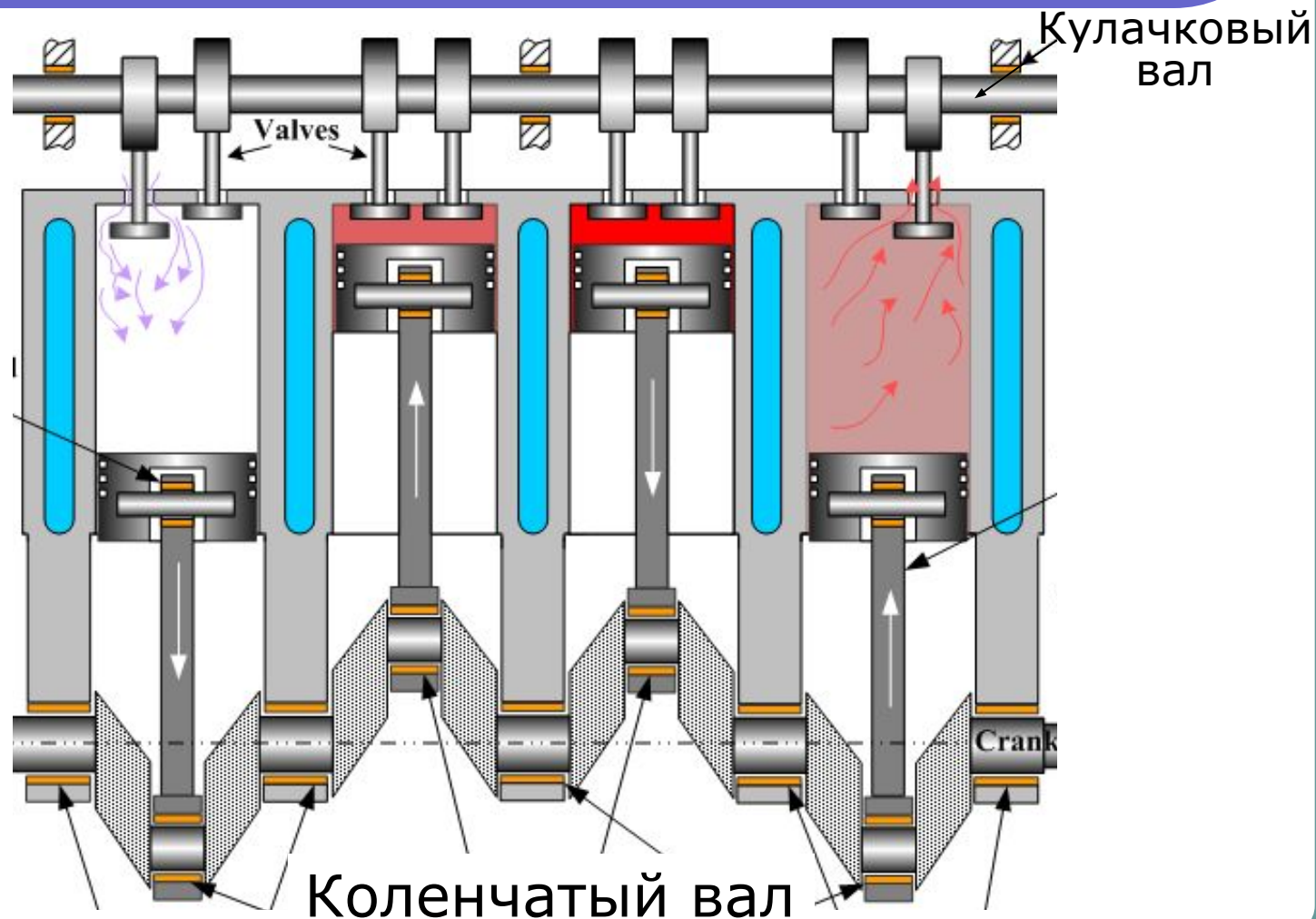
$$q_e + q_B + q_G + q_{\text{ост}} = 1.$$

Здесь полезно-использованная теплота: ($q_e = \eta_e$).

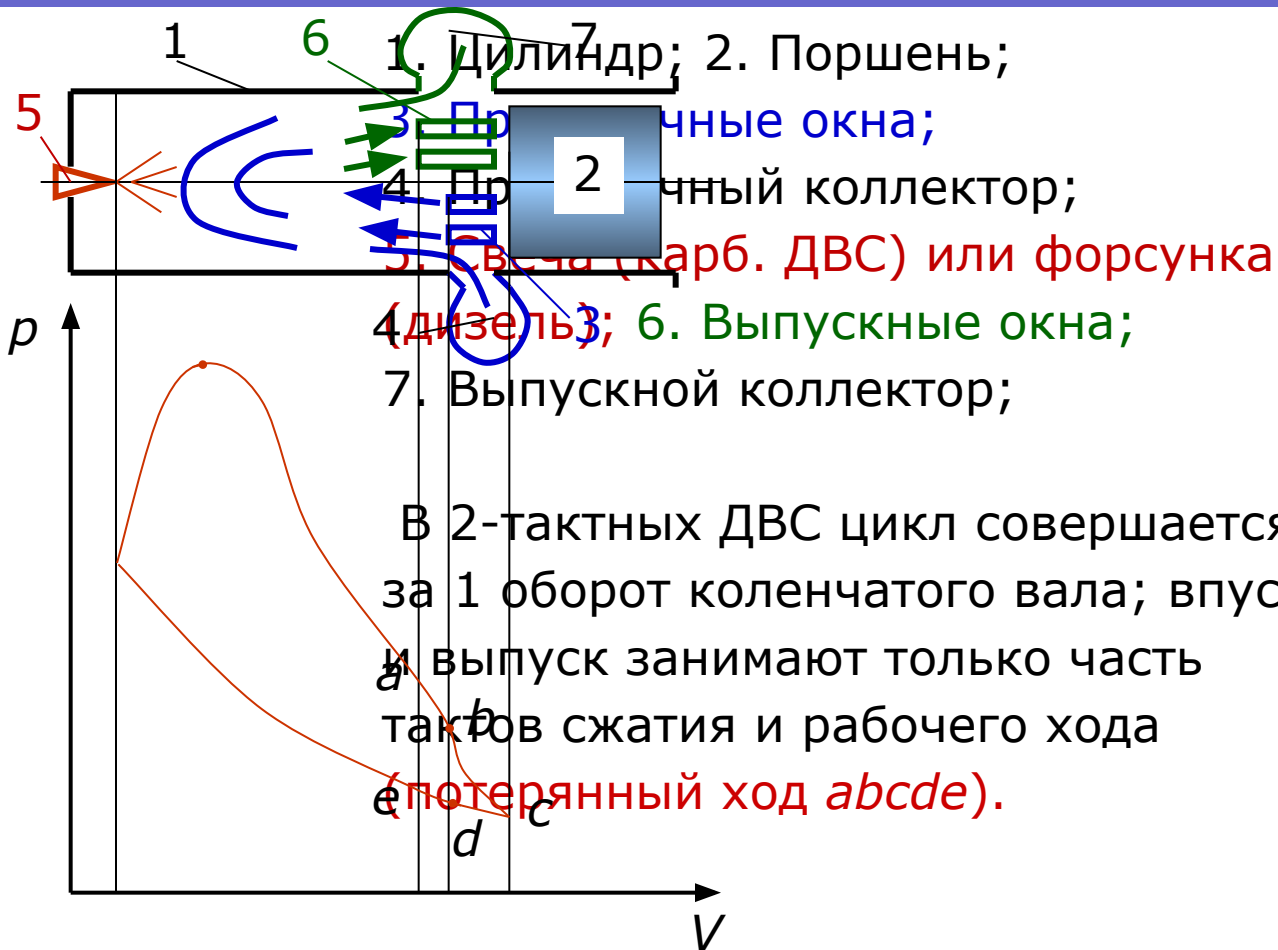
Цилиндр ДВС в разрезе



Порядок работы цилиндров



2-тактный ДВС с поперечной контурной продувкой



Процессы 2-тактного ДВС

В конце процесса расширения в точке a поршень открывает выпускные окна 6 и начинается **выпуск газов ab** в атмосферу через выпускной коллектор 7.

В точке b поршень открывает продувочные окна 3, через которые из продувочного коллектора 4 под избыточным давлением в цилиндр поступает свежий воздух и вытесняет отработавшие газы.

Продувка bcd заканчивается при обратном ходе поршня, когда он в точке d закроет продувочные окна.

В процессе de выпускные окна еще открыты, поэтому очистка цилиндра продолжается.

Преимущества и недостатки 2-тактных ДВС

Так как в 2-тактных ДВС цикл совершается за 1 оборот коленчатого вала, а в 4-тактных – за 2 оборота, то теоретически, при одинаковых размерах и числах оборотов, **2-тактный двигатель должен быть в 2 раза мощнее.**

Однако в действительности из-за потери части рабочего хода, 2-тактные ДВС лишь на 50...70 % мощнее 4-тактных.

При одинаковых мощностях и оборотах **2-тактные ДВС имеют меньшие габариты, массу и стоимость изготовления;** кроме того, они надежны и просты в обслуживании.

Но при увеличении числа оборотов ухудшается очистка цилиндра и заполнение его свежим воздухом.

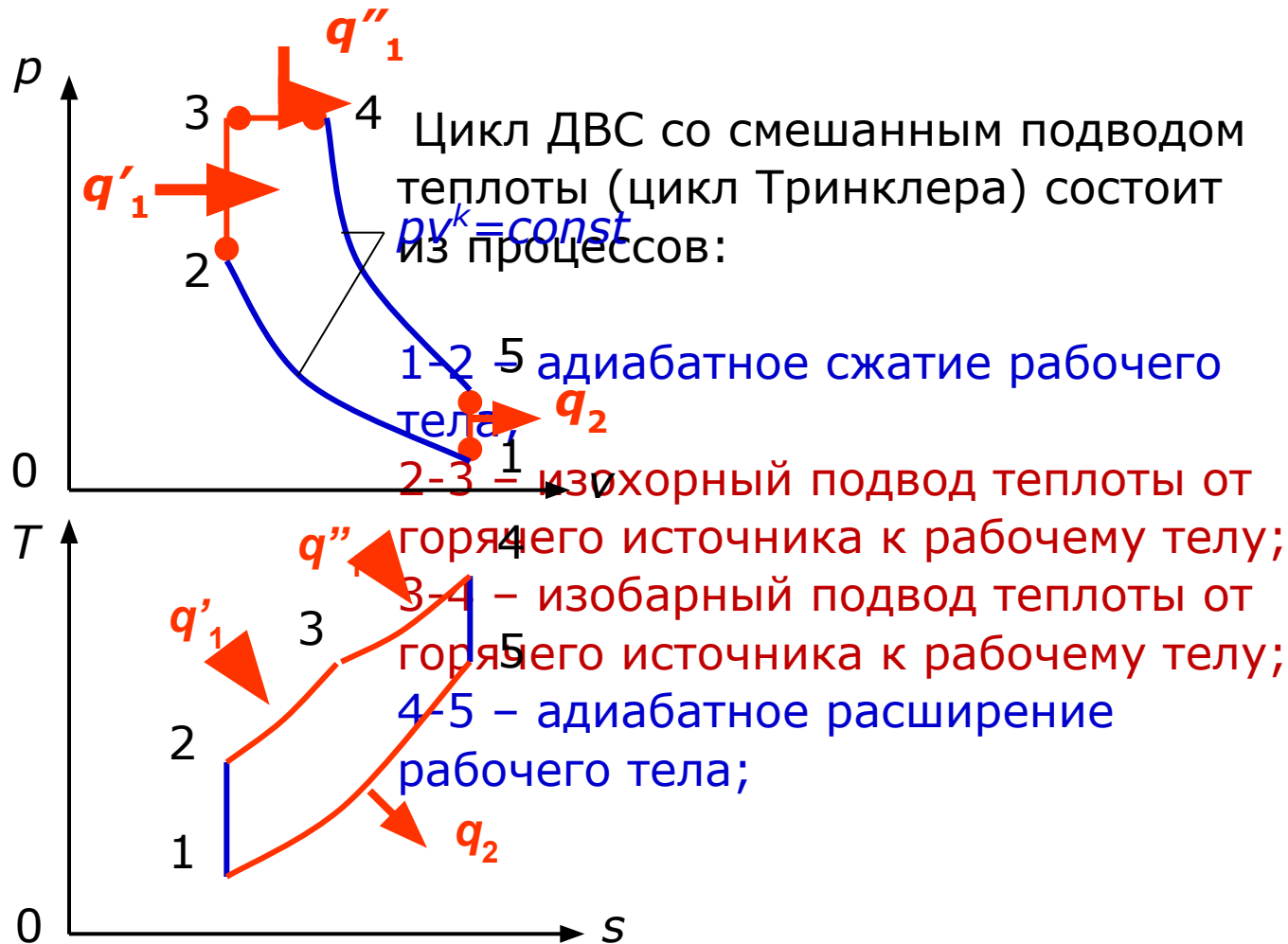
Преимущества 4-тактных ДВС

Итак, при больших оборотах 4-тактные ДВС получаются даже компактнее; кроме того, в 2-тактных карбюраторных ДВС неизбежны при продувке уносы части топлива в атмосферу.

Поэтому мощные поршневые авиационные двигатели, рассчитанные на большие числа оборотов, обычно 4-тактные из-за меньших масс и расходов топлива.

Однако, маломощные мотоциклетные и подвесные лодочные моторы строят 2-тактными, так как для них важнее является простота конструкции и обслуживания.

Цикл Тринклера



Допущения

5-1 – изохорный отвод теплоты от рабочего тела к холодному источнику.

Допущения для теоретических циклов ДВС:

- цикл замкнутый;
- рабочее тело – идеальный газ;
- изменение состояния рабочего тела – обратимое;
- сжигание топлива в цилиндре заменяется изохорным, изобарным или смешанным подводом теплоты к рабочему телу от горячего источника,

а выпуск газов – изохорным отводом теплоты от рабочего тела к холодному источнику.

Характеристики теоретических циклов ДВС

Основные характеристики циклов по процессам:

- 1-2 – адиабатное сжатие:

степень сжатия

$$\varepsilon = v_1/v_2;$$

- 2-3 – изохорный подвод теплоты:

степень повышения давления

$$\lambda = p_3/p_2;$$

- 3-4 – изобарный подвод теплоты:

степень предварительного расширения

$$\rho = v_4/v_3.$$

Термический КПД цикла Тринклера

Основной характеристикой любого цикла теплового двигателя является его термический КПД:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q'_1 + q''_1} = 1 - \frac{c_v(T_5 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)}$$

Сократим числитель и знаменатель на c_v ; вынесем за скобки из числителя T_1 , а из знаменателя – T_2 :

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{(T_5/T_1 - 1)}{(T_3/T_2 - 1) + k(T_4/T_3 - 1)T_3/T_2}$$

В выражении (1) надо отношения температур заменить на характеристики цикла.

Соотношения между параметрами

Соотношения между параметрами в термодинамических процессах:

- адиабатном 1-2 $T_1/T_2 = (v_2/v_1)^{k-1} = 1/\varepsilon^{k-1};$ (2)

- изохорном 2-3 $T_3/T_2 = p_3/p_2 = \lambda;$ (3)

- изобарном 3-4 $T_4/T_3 = v_4/v_3 = \rho;$ (4)

- изохорном 5-1 $T_5/T_1 = p_5/p_1;$ (5)

- адиабатном 4-5 $p_5 v_5^k = p_4 v_4^k;$

- адиабатном 1-2 $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k.$

Окончательное выражение термического КПД цикла Тринклера

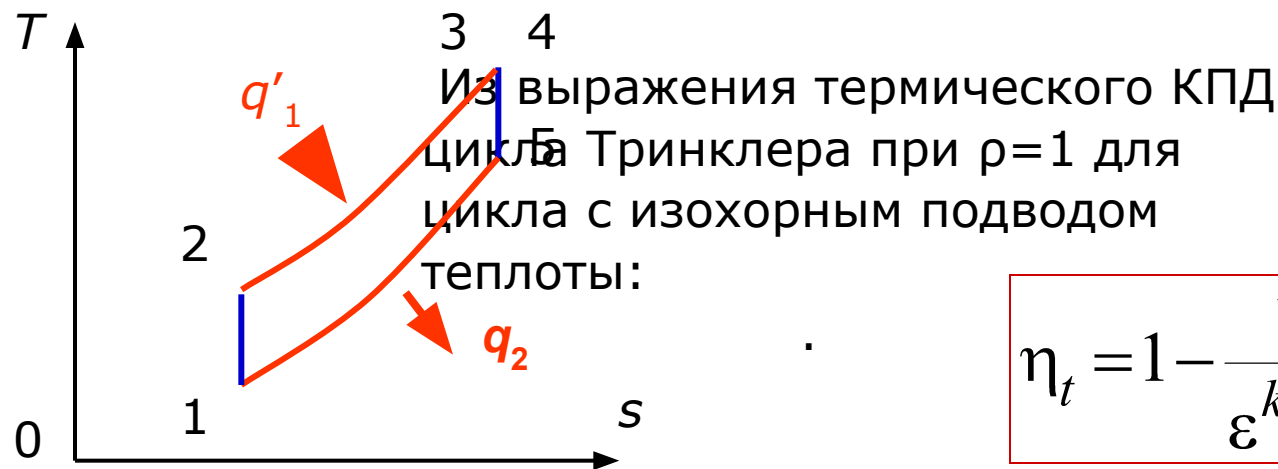
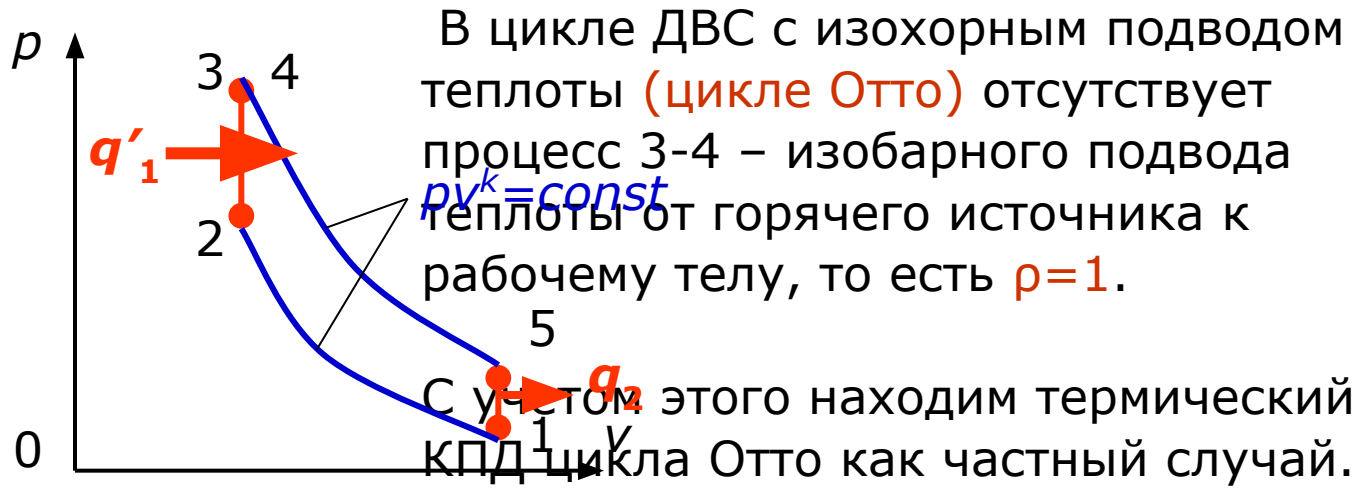
Поделим почленно последние два выражения,
тогда с учетом (5) и равенства $v_5=v_1$
в изохорном процессе 5-1 имеем:

$$T_5/T_1 = p_5/p_1 = (p_4/p_2)(v_4/v_2)^k = (p_3/p_2)(v_4/v_3)^k = \lambda\rho^k. \quad (6)$$

Подставляем (2-6) в (1) и получаем термический КПД:

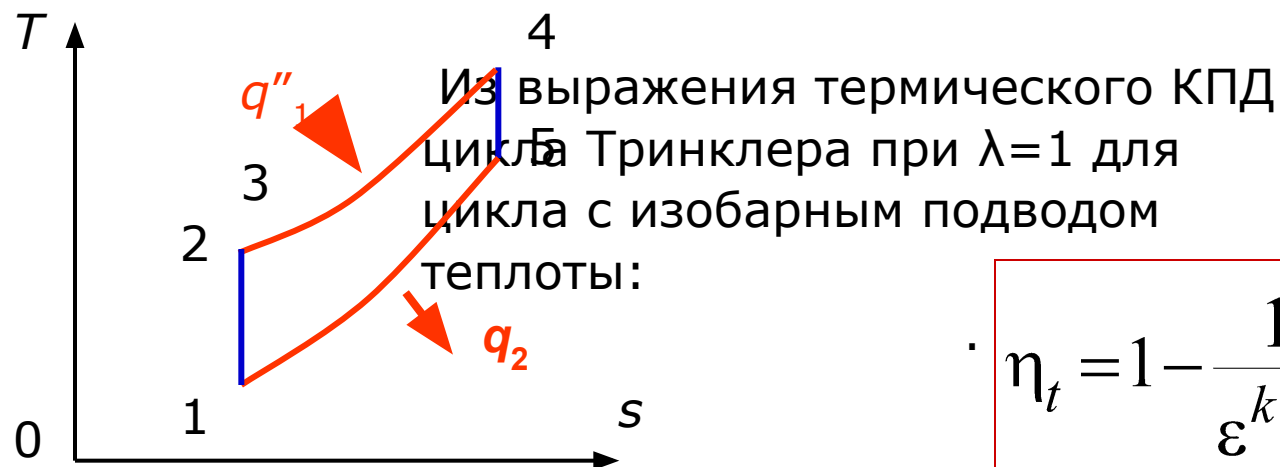
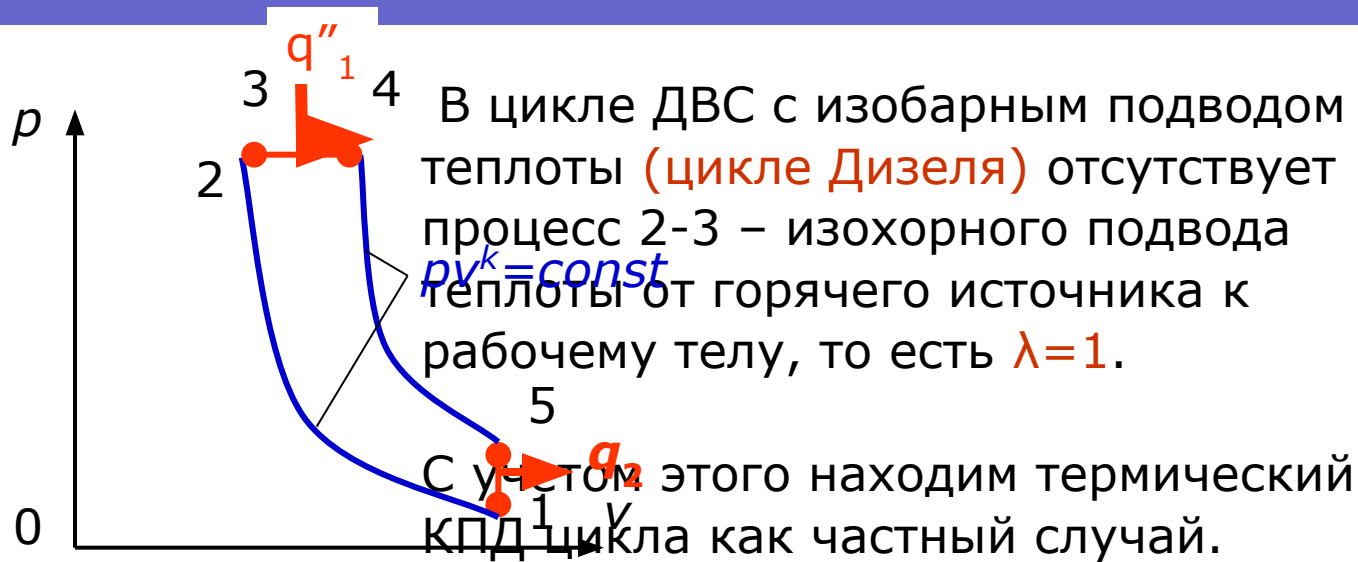
$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda\rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda(\rho - 1)}.$$

Цикл Отто



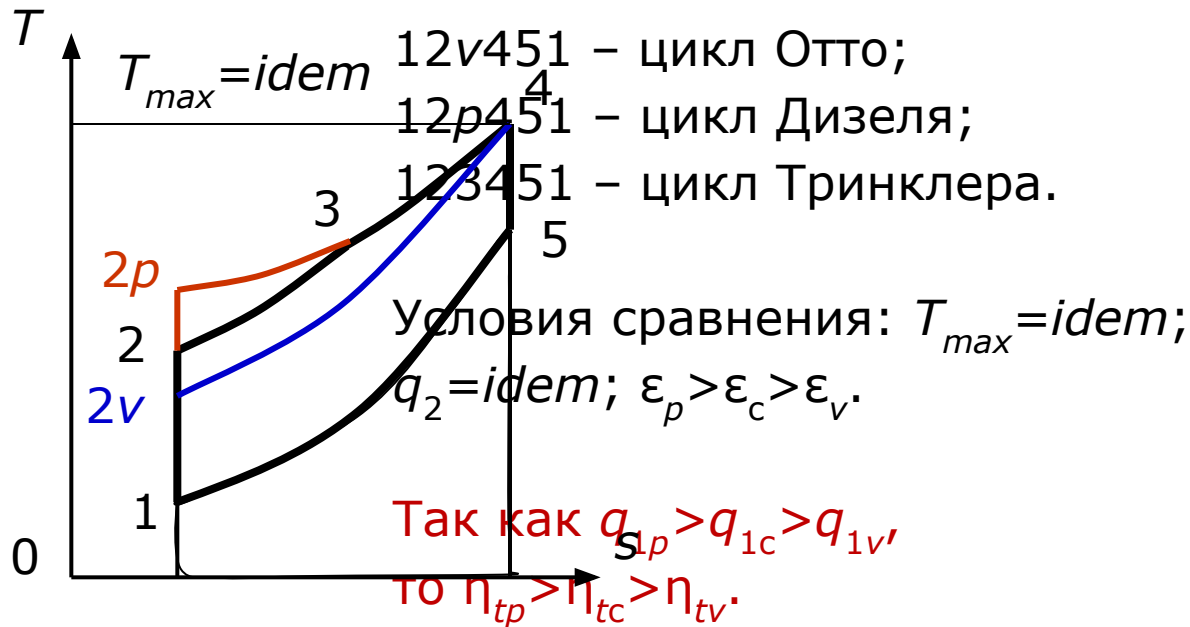
$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Цикл Дизеля



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

Сравнение циклов ДВС



Таким образом, наиболее экономичным при реальных условиях сравнения является цикл Дизеля.