

# СУДОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ



1. Основные определения.
2. Классификация ДВС.
3. Циклы ДВС.
4. Принцип действия 4-х и 2-х тактных ДВС.
5. Индикаторные диаграммы.
6. Особенности конструкций 4-х и 2-х тактных ДВС.



## ЛИТЕРАТУРА:

- **Артемов Г.А. Судовые энергетические установки / Г.А. Артемов, В.П. Волошин, Ю.В. Захаров. – Л.: Судостроение, 1987 – 480 с.**
- **Болдырев О.Н. Судовые энергетические установки. Часть I. Дизельные и газотурбинные установки. Учебное пособие. – Северодвинск: Севмашвтуз, 2003. – 171 с.**
- 3. **Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые ДВС. Том 1, 2-е издание. – М.: Моркнига, 2010. – 260 с.**
- 4. **Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые ДВС. Том 2. – М.: Моркнига, 2008. – 470 с.**

# ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)** – поршневой тепловой двигатель, в котором топливо сгорает непосредственно внутри рабочего цилиндра. В ДВС работа совершается в результате расширения газов и их давления на поршень.

**Рабочее тело** - смесь газов, образующихся при сгорании топлива.

**Дизель** - ДВС с внутренним смесеобразованием, в котором тяжелое жидкое топливо, вводимое в распыленном состоянии в цилиндр в конце хода сжатия, самостоятельно воспламеняется в горячем сжатом воздухе.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

## По роду рабочего цикла:

- с подводом теплоты при постоянном объеме;
- с подводом теплоты при постоянном давлении;
- со смешанным подводом теплоты (сначала при постоянном объеме, затем при постоянном давлении газов).

## По способу смесеобразования:

- с внешним смесеобразованием – карбюраторные и газовые двигатели, в которых рабочая смесь образуется вне рабочего цилиндра;
- с внутренним смесеобразованием – дизели, в которых рабочая смесь образуется внутри рабочего цилиндра.

## По способу осуществления рабочего цикла:

- четырехтактные, в которых рабочий цикл осуществляется за четыре хода поршня;
- двухтактные, в которых рабочий цикл осуществляется за два хода поршня.



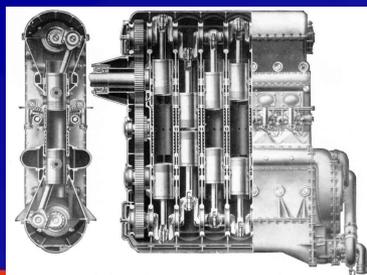
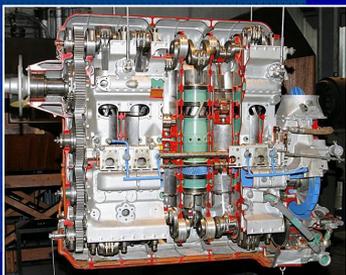
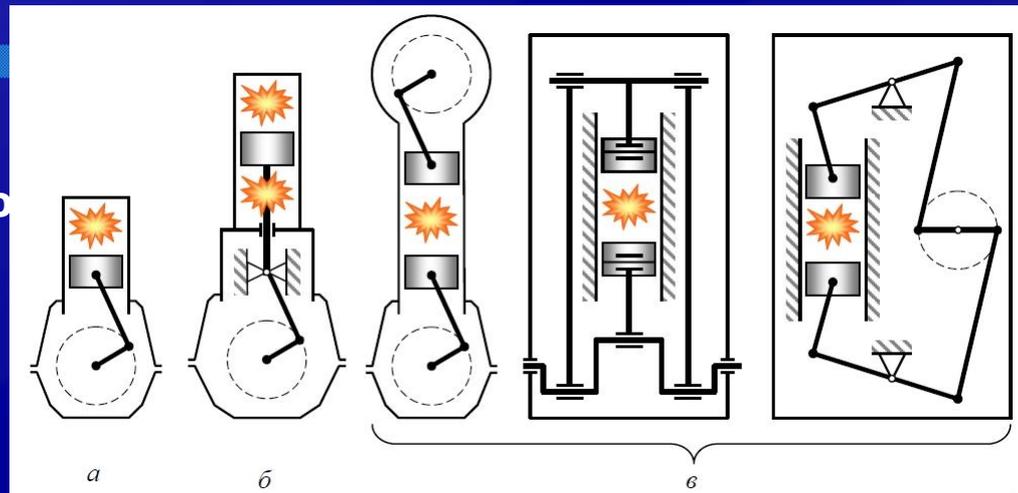
# КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

По способу действия:

- простого действия, у которых рабочий цикл осуществляется только в верхней полости цилиндра (а);

- двойного действия, у которых рабочий цикл совершается в двух полостях цилиндра поочередно над и под поршнем (б);

- с противоположно движущимися поршнями – ПДП (в).



# КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

## По роду применяемого топлива:

- работающие на легком жидком топливе (бензин, лигроин, керосин, бензол);
- работающие на тяжелом жидком топливе (дизельное, моторное топлива, соляровое масло, газойль, мазут);
- работающие на газообразном топливе (газы: естественный, генераторный, сжиженный и др.);
- многотопливные – приспособленные для работы на широком ассортименте топлив;

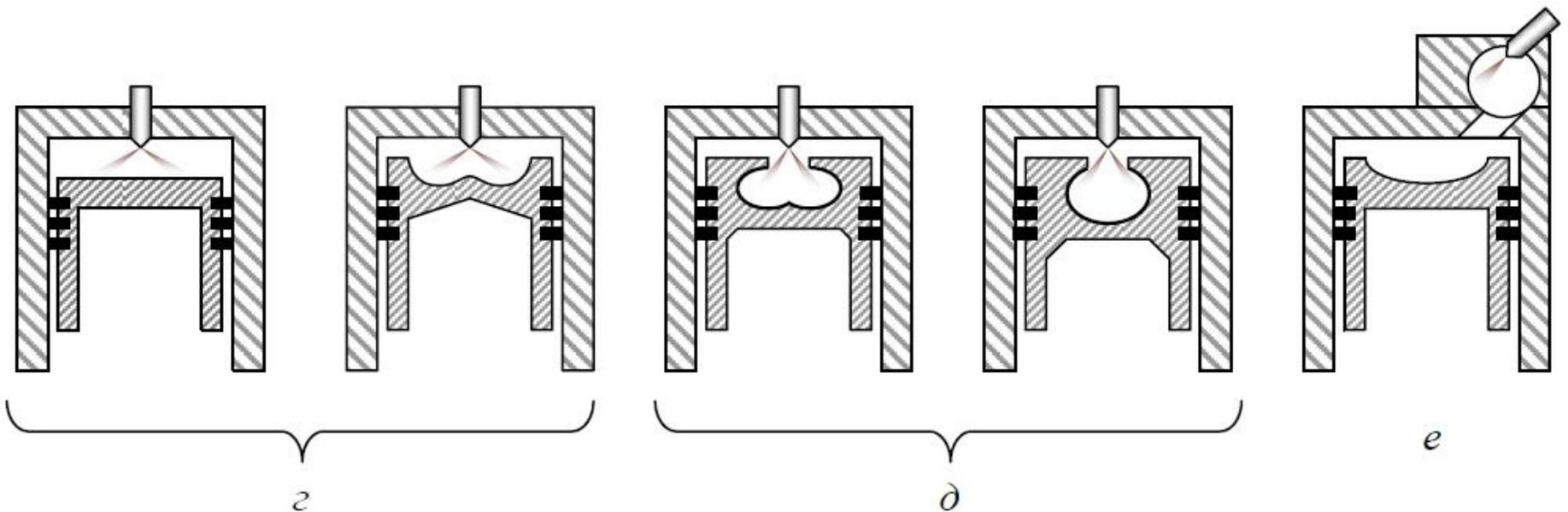
## По способу воздухообеспечения:

- без наддува, с подачей воздуха в цилиндры под давлением, незначительно отличающимся от атмосферного;
- с наддувом, с подачей воздуха в цилиндры под давлением, существенно превышающим атмосферное. В двигателях с наддувом используются схемы с подключенным турбокомпрессором (ПТК) и со свободным турбокомпрессором (СТК)

# КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

По конфигурации камер сгорания:

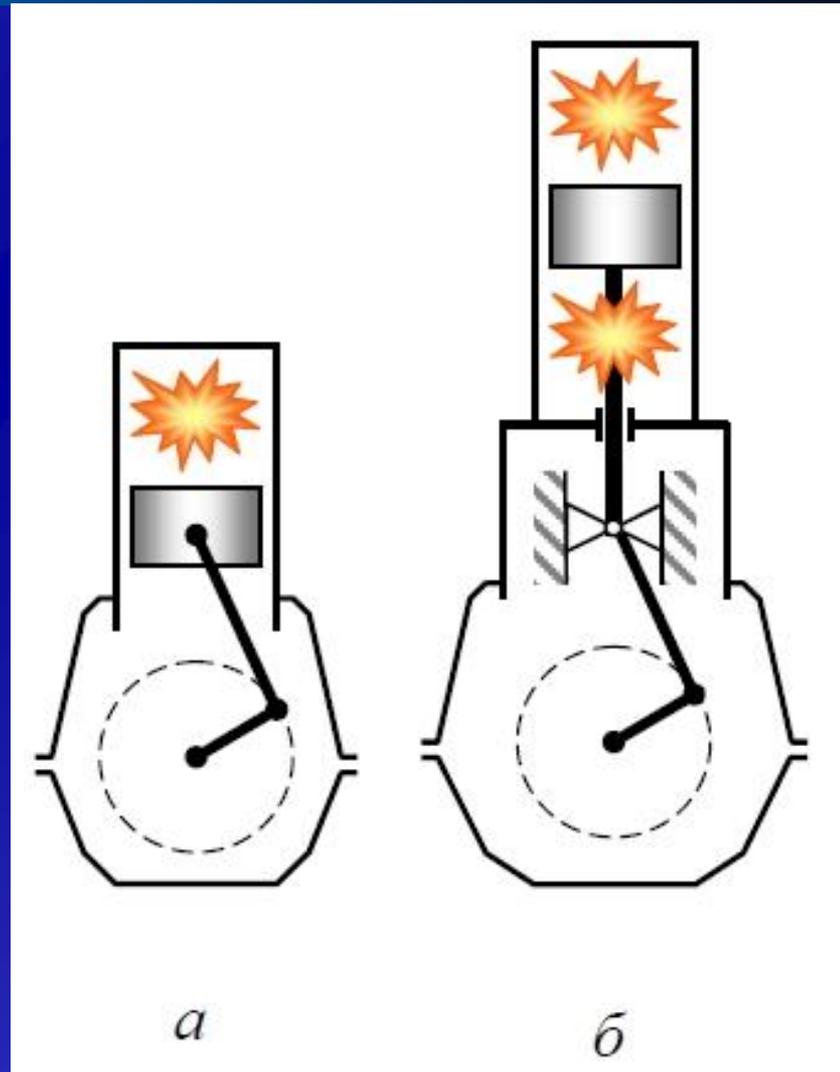
- с неразделенными однополостными КС (г);
- с полуразделенными КС (дизели с КС в поршне – д);
- с разделенными двумя и более полостными КС (предкамерные, вихре-камерные, воздушно-камерные двигатели – е).



# КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

По конструктивному исполнению:

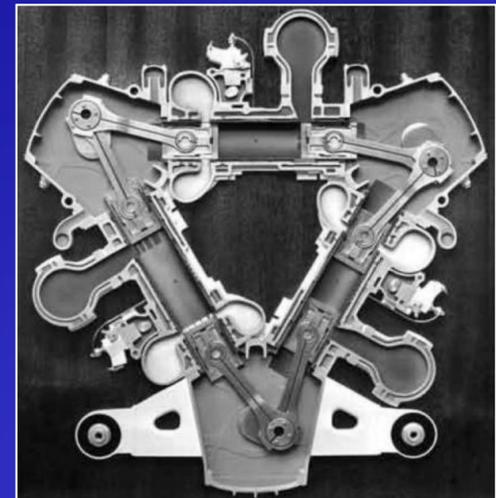
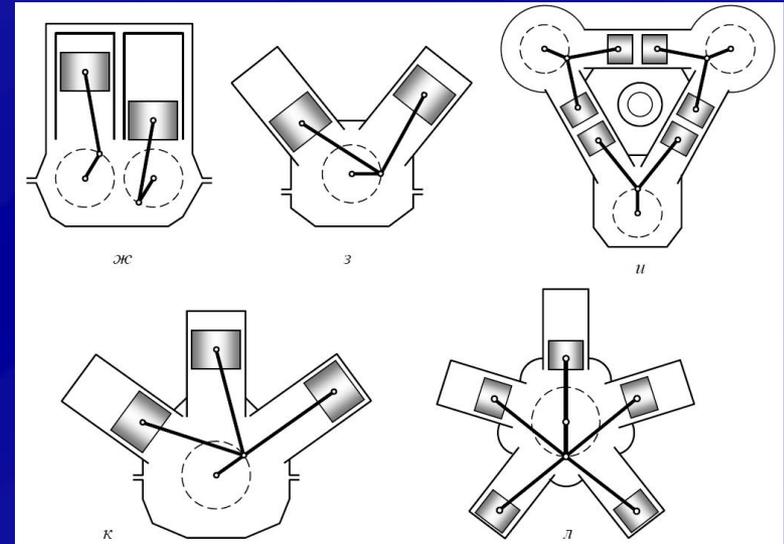
- тронковые – классическая схема передачи усилия от поршня на коленчатый вал через шатун (а);
- кривокопные – усилие на коленчатый вал от поршня передается через шток-толкатель, кривокопный механизм и шатун (б).



# КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

По расположению рабочих цилиндров:

- вертикальные;
- горизонтальные;
- однорядные (а);
- двухрядные (ж);
- многорядные (число рядов цилиндров более двух);
- V-образные (з);
- W-образные (к);
- звездообразные (л);
- Δ-видные (и) и др.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

## По возможности осуществления реверса:

- реверсивные, с возможностью изменения направления вращения коленчатого вала на противоположное;
- нереверсивные.

## По назначению:

- судовые;
- тепловозные;
- автомобильные и автотракторные;
- стационарные (для промышленных целей).

# КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ДВС

## По назначению:

- главные – работающие на движитель;
- вспомогательные – не связанные с обеспечением движения судна.

## По частоте вращения коленчатого вала – $n$ :

- малооборотные двигатели (МОД) –  $n = 100...350$  об/мин;
- среднеоборотные двигатели (СОД) –  $n = 350...750$  об/мин;
- высокооборотные двигатели (ВОД) –  $n = 750...2500$  об/мин.

## По средней скорости поршня – $C_m$ :

- тихоходные –  $C_m = 4...6$  м/с;
- средней быстроходности –  $C_m = 6...9$  м/с;
- быстроходные –  $C_m = 9...13$  м/с;
- повышенной быстроходности –  $C_m > 13$  м/с.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ДВС

### По эффективной мощности – $N_e$ :

- маломощные –  $N_e < 73,5$  кВт, ( $< 100$  л.с.);
- средней мощности –  $N_e = 73,5...1470$  кВт, (100...2000 л.с.);
- мощные –  $N_e = 1470...14700$  кВт, (2000...20000 л.с.);
- сверхмощные –  $N_e = 14700...29400$  кВт, (20000...40000 л.с.);  
(в отдельных случаях до 36700 кВт (50000 л.с.).

### По напряженности (форсированию) площади поршня – $NF$ :

- нефорсированные –  $NF < 14,7$  кВт/дм<sup>2</sup>, (20 л.с./ дм<sup>2</sup>);
- форсированные –  $NF = 14,7...44,2$  кВт/дм<sup>2</sup>, (20...60 л.с./ дм<sup>2</sup>);
- высокофорсированные –  $NF = 44,2...73,5$  кВт/дм<sup>2</sup>, (60...100 л.с./дм<sup>2</sup>).

### По отношению хода поршня к диаметру цилиндра – $S/D$ :

- короткоходовые –  $S/D = 0,9...1,2$ ;
- среднеходовые –  $S/D = 1,2...1,5$ ;
- длинноходовые –  $S/D = 1,5...1,8$ .

Дизели с  $S/D < 0,9$  и  $S/D > 1,8$  применяются крайне редко.

# МАРКИРОВКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Маркировка производится в соответствии с ГОСТ 4393-82 «Дизели стационарные, судовые, тепловозные и промышленные. Типы и основные параметры».

Цифры и буквы маркировки обозначают:

арабские цифры впереди букв – количество цилиндров;

буквы: Ч – четырехтактный;

Д – двухтактный;

ДД – двухтактный двойного действия;

П – с редукторной передачей;

К – крейцкопфный (отсутствие К – тронковый);

Р – реверсивный (отсутствие Р – нереверсивный);

С – судовой с реверсивной муфтой;

Н – с наддувом (отсутствие Н – без наддува);

Г – газовый;

1А, 2А, 3А, 4А – степень автоматизации по ГОСТ 14228-80;

дробь: числитель – диаметр цилиндра, [см];

знаменатель – ход поршня, [см];

(у двухтактных дизелей с ПДП знаменатель умножается на 2).

**Примеры маркировки дизелей в соответствии с ГОСТ 4393-82:**

5ДКРН 50/110; 16ДРПН 23/2×30; 12ЧНСП1А 18/20.

Некоторые двигатели отечественного производства кроме стандартного имеют условное заводское наименование, не отражающее их конструктивные особенности. Например М-850, и др.

# МАРКИРОВКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Зарубежные фирмы не имеют стандартов на маркировку дизелей.

Условные обозначения маркировки дизелей некоторых зарубежных фирм:

Тип двигателя	МАН	«Зульцер»	В&W	«Фиат»	«Сторк»
Двухтактный	<i>Z</i>	–	<i>V</i>	–	<i>T</i>
Двухтактный двойного действия	<i>D</i>	–	<i>W</i>	–	–
Тронковый	<i>G</i>	<i>T</i>	–	–	–
Крейцкопфный	<i>K</i>	–	<i>T</i>	<i>C</i>	–
С газотурбинным наддувом	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>S</i>	<i>O</i>
Реверсивный	–	<i>D</i>	<i>F</i>	–	<i>O</i>

**Примеры:** Дизель фирмы «Бурмейстер и Вайн», Дания, марки 674-VTBF-160 соответствует маркировке 6ДКРН 74/160.  
Дизель фирмы «Зульцер», Швейцария, марки 8TAD48 соответствует маркировке 8ДРН 48/70, и т.д.

# МАРКИРОВКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В маркировку двигателей производства **Германии** входит число цилиндров и ход поршня. Диаметр цилиндра либо дается в знаменателе, либо совсем не указывается. Марка двигателя 8ZD 72/48 расшифровывается: восьмицилиндровый двухтактный дизель с ходом поршня 720 мм и с цилиндром диаметром 480 мм.

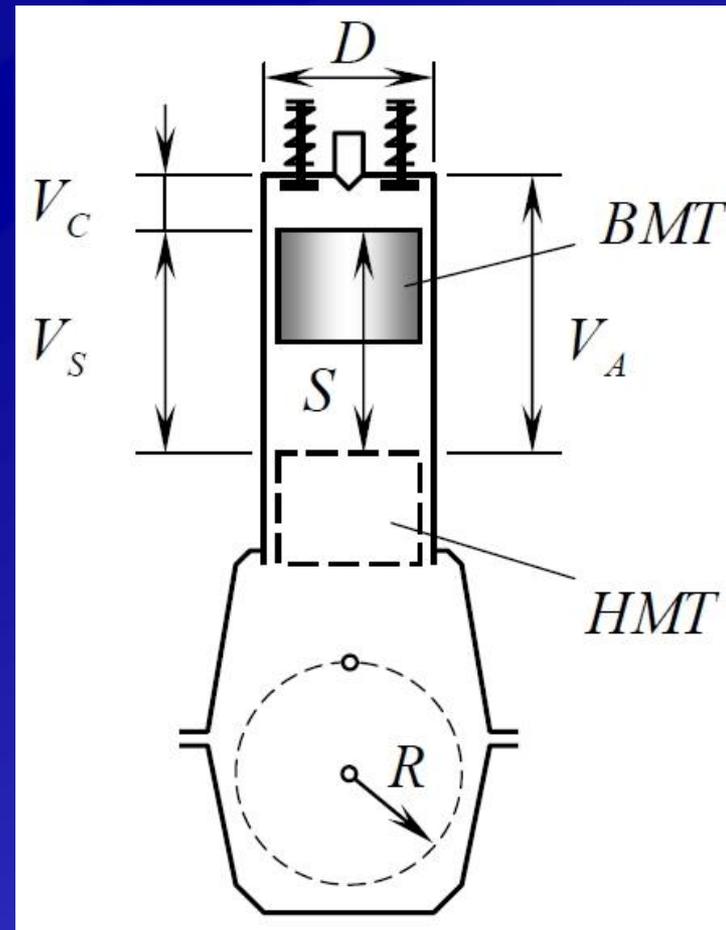
В маркировке двигателей **«Зульцер»** ход поршня не указывается. Например, марка 8TD-48 присваивается восьмицилиндровому тронковому реверсивному двигателю с цилиндром диаметром 480 мм.

В маркировке двигателей **МАН** число цилиндров указывают между условными буквенными обозначениями конструкции двигателя и его тактностью, после чего дробью - диаметр цилиндра и ход поршня (в см), затем условное обозначение турбонаддува и показатель модификации. Так, марка двигателя K6Z 60/105Л означает, что двигатель крейцкопфный шестицилиндровый двухтактный с цилиндром диаметром 600 мм, ходом поршня 1050 мм, подпоршневые пространства у данной модификации используются как продувочный насос.

Двигатели заводов **«Бурмейстер и Вайн»** маркируются несколько иначе. Здесь диаметр цилиндра (в см) указывают впереди условных буквенных обозначений, за числом цилиндров, а ход поршня - после них. Так, марка 6-35 VBF62 присваивается шестицилиндровому двухтактному реверсивному дизелю с газотурбинным наддувом с цилиндром диаметром 350 мм и ходом поршня 620 мм.

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВС

- Верхняя мертвая точка (ВМТ) – положение поршня, при котором он наиболее удален от оси коленчатого вала;
- нижняя мертвая точка (НМТ) – положение поршня, наиболее близкое к оси коленчатого вала;
- ход поршня  $S$ , [м] – расстояние между ВМТ и НМТ:  
$$S = 2R;$$
- рабочий объем цилиндра  $V_S$ , [м<sup>3</sup>] – объем, описываемый поршнем при движении между ВМТ и НМТ:  
$$V_S = S \cdot \pi D^2 / 4;$$
- объем камеры сжатия  $V_C$ , [м<sup>3</sup>] – объем цилиндра над поршнем при нахождении его в ВМТ;
- полный объем цилиндра  $V_A$ , [м<sup>3</sup>] – сумма рабочего объема цилиндра и объема камеры сжатия:  
$$V_A = V_C + V_S$$



# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ 4-Х ТАКТНОГО ДВС

Рабочий цикл в цилиндре 4-х тактного дизеля осуществляется за 2 оборота коленчатого вала (4 хода поршня).

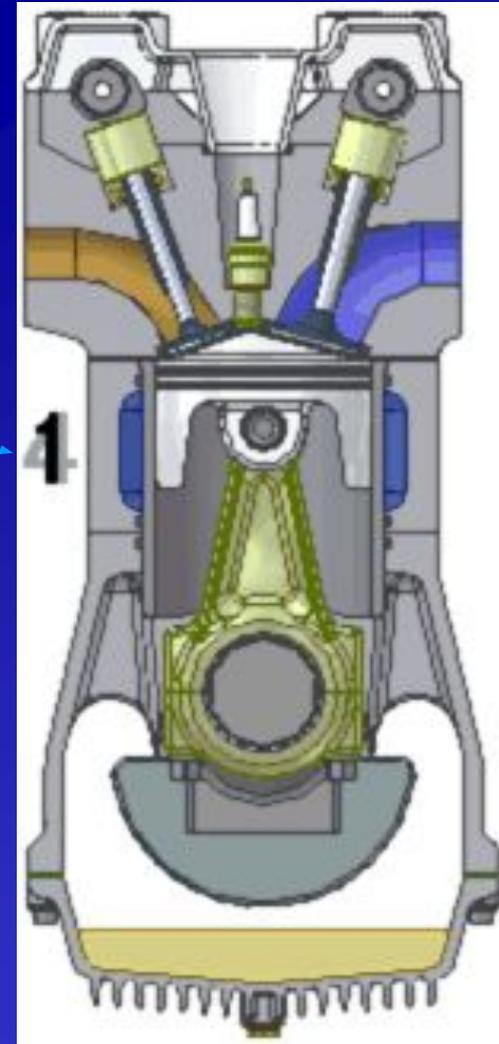
Рабочий цикл 4-х тактного дизеля состоит из процессов (**тактов**):

- впуска - 1,
- сжатия - 2,
- расширения (рабочего хода) - 3,
- выпуска - 4.

Цилиндр 4-х тактного дизеля закрыт крышкой, в которой располагаются клапаны для впуска свежего заряда воздуха и выпуска продуктов сгорания.

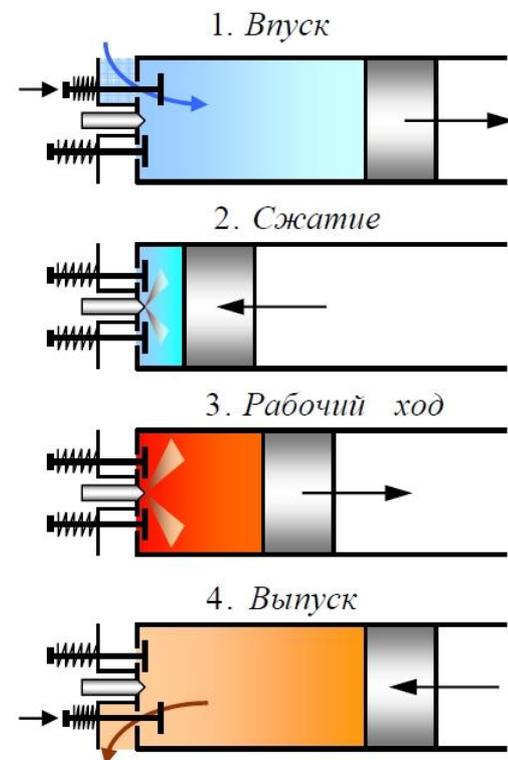
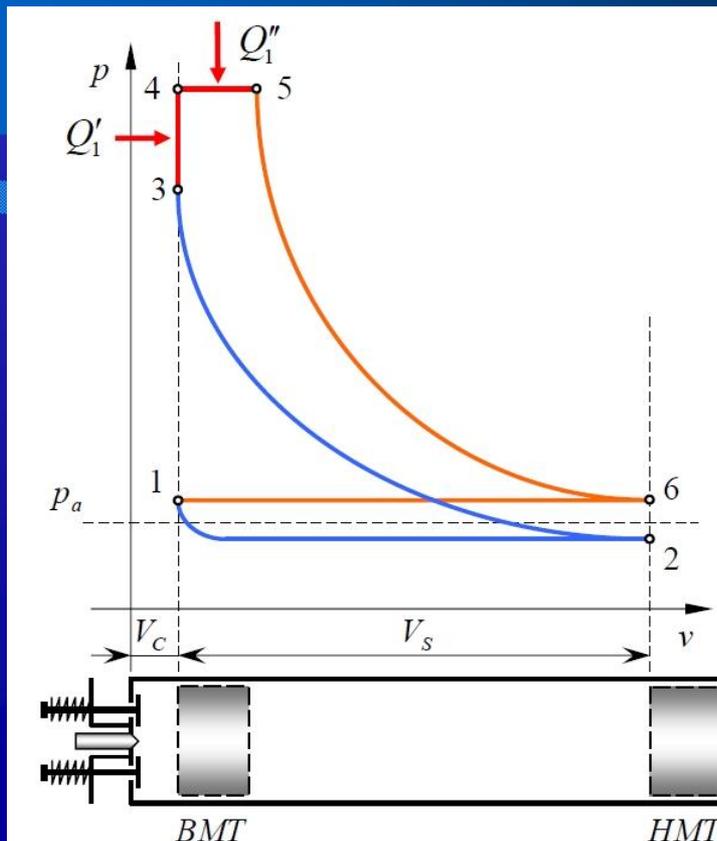
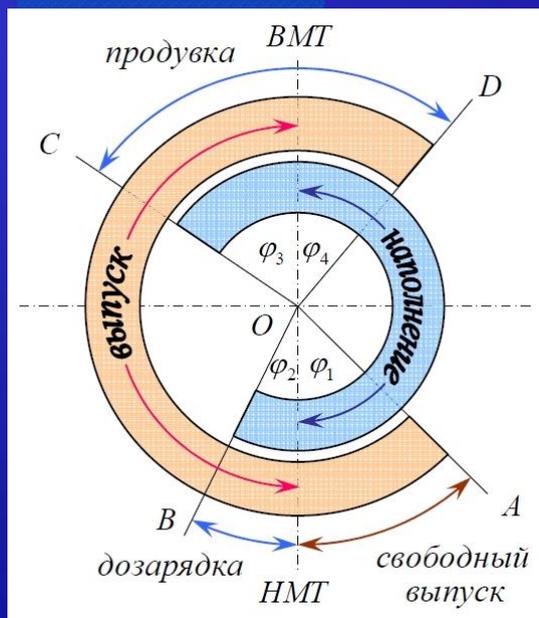
Впускные и выпускные клапаны удерживаются в закрытом положении пружинами и давлением, создаваемым в цилиндре в периоды сжатия, сгорания топлива и расширения.

Открытие клапанов в необходимые моменты времени осуществляется с помощью газораспределительного механизма.



# РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА 4-Х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

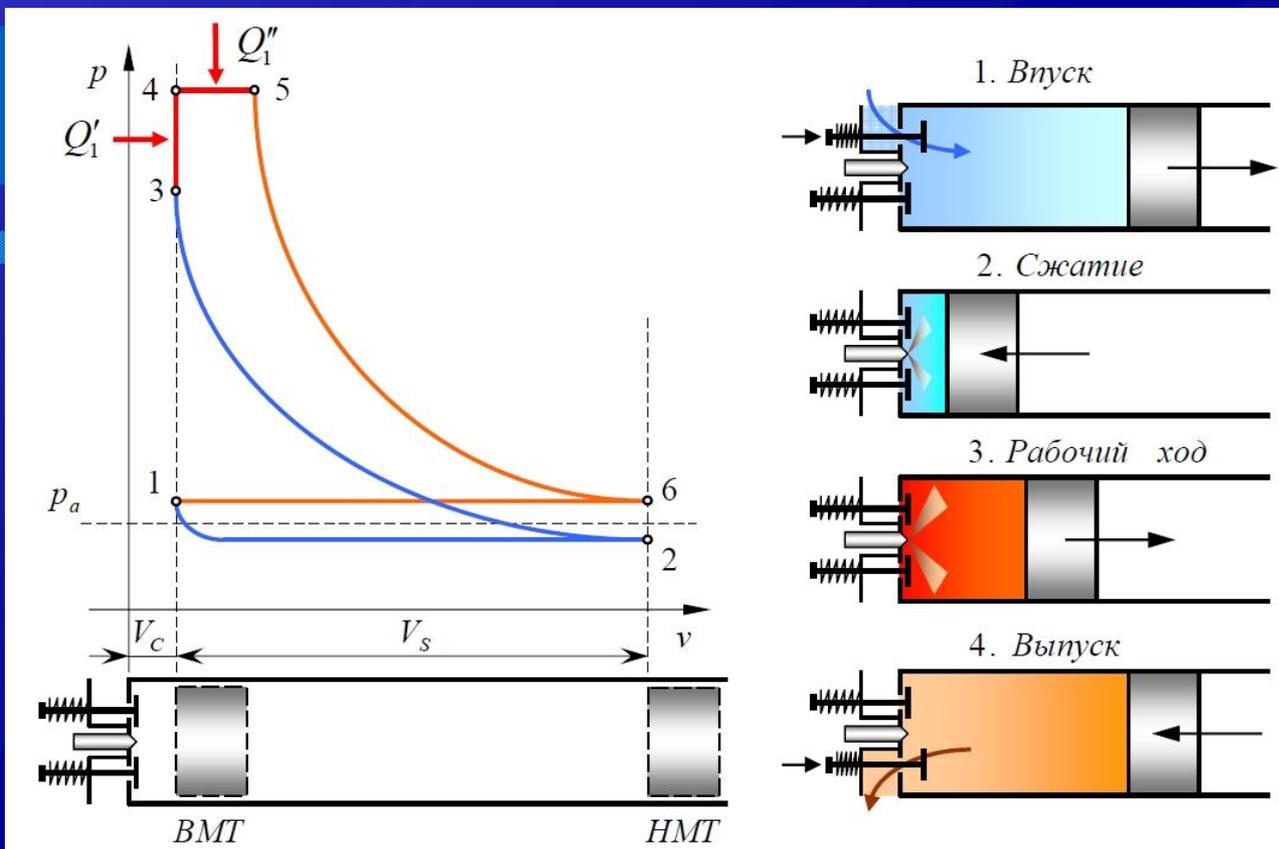
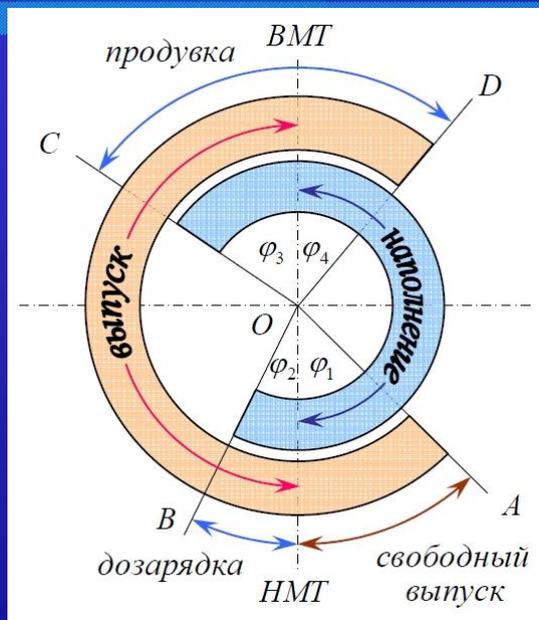
## Первый такт – впуск



В начальный момент времени давление в цилиндре двигателя несколько выше атмосферного – точка 1 индикаторной диаграммы. Поршень из ВМТ начинает свое движение к НМТ, открывается впускной клапан и поршень всасывает в цилиндр свежий заряд воздуха (процесс 1-2). При этом давление в цилиндре устанавливается чуть ниже атмосферного (для двигателей без наддува) за счет гидравлического сопротивления впускного клапана. Часто для увеличения массы свежего заряда воздух предварительно сжимают в компрессоре до избыточного давления 0,13...0,4 МПа, а затем охлаждают в воздухоохладителе. Такое увеличение массы свежего заряда называется **наддувом**.

# РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА 4-Х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

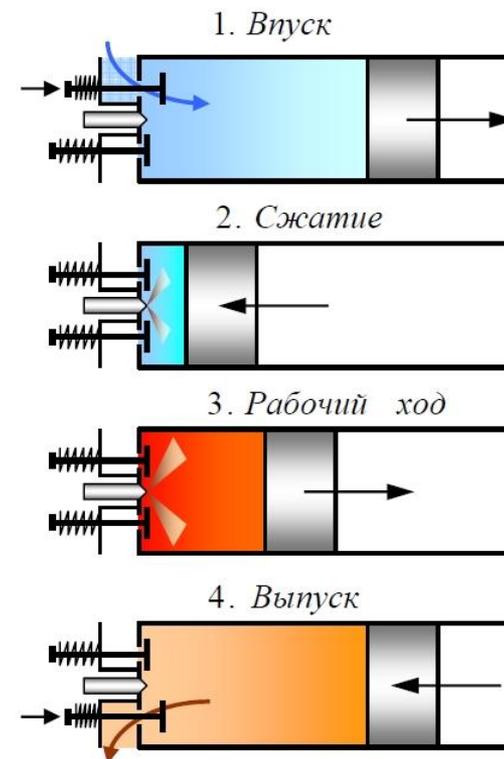
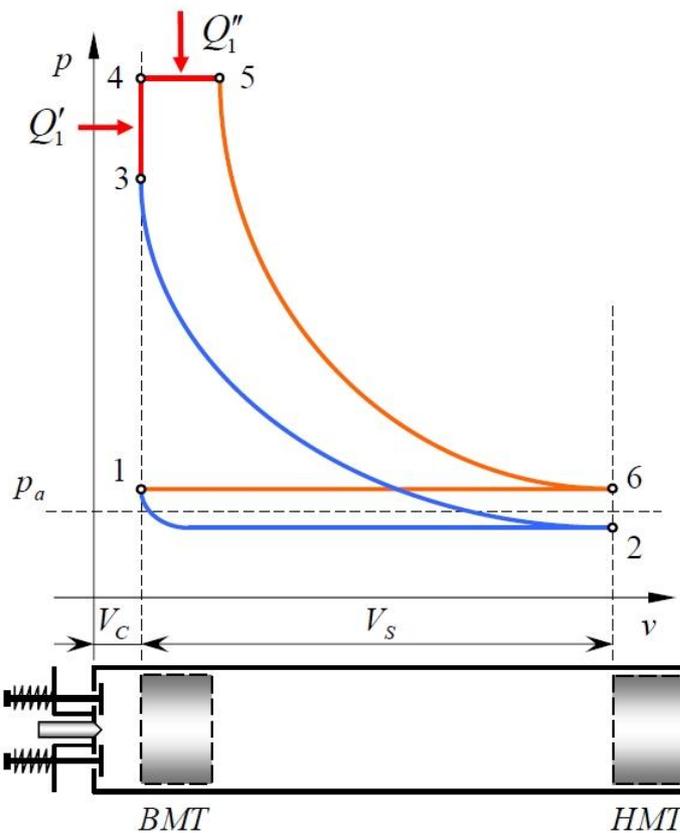
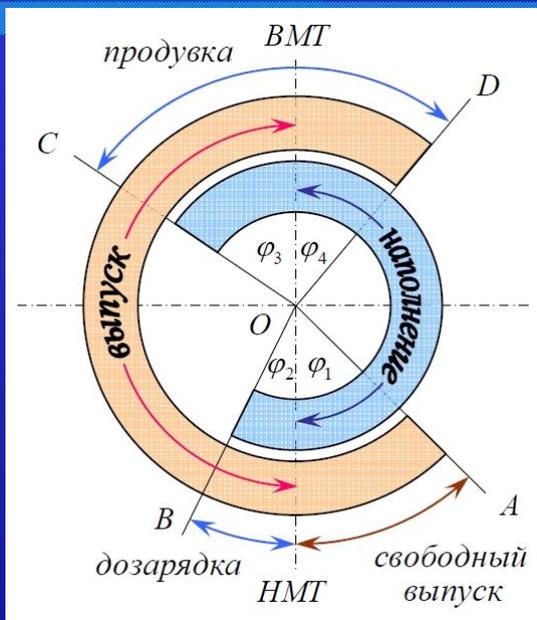
## Второй такт – сжатие



Поршень из НМТ начинает движение к ВМТ. Впускной клапан закрывается и происходит сжатие воздуха в цилиндре (2–3). При этом уменьшается объем заряда воздуха, повышается его давление до 3,6...4,0 МПа (без наддува), до 11,0 МПа (при высоком наддуве), что сопровождается увеличением температуры воздуха до 500 °С и выше. В конце такта при нахождении поршня вблизи ВМТ в цилиндр через форсунку начинает поступать распыленное топливо, которое от соприкосновения с горячим воздухом самовоспламеняется и начинает гореть. При сгорании топлива давление в цилиндре растет до 5,5...8,5 МПа (без наддува) и до 11,0...14,5 МПа (с высокой степенью наддува). Процесс 3–4 сгорания  $\sim 40\%$  топлива в конце такта сжатия близок к изохорному и происходит при нахождении поршня вблизи ВМТ.

# РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА 4-Х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

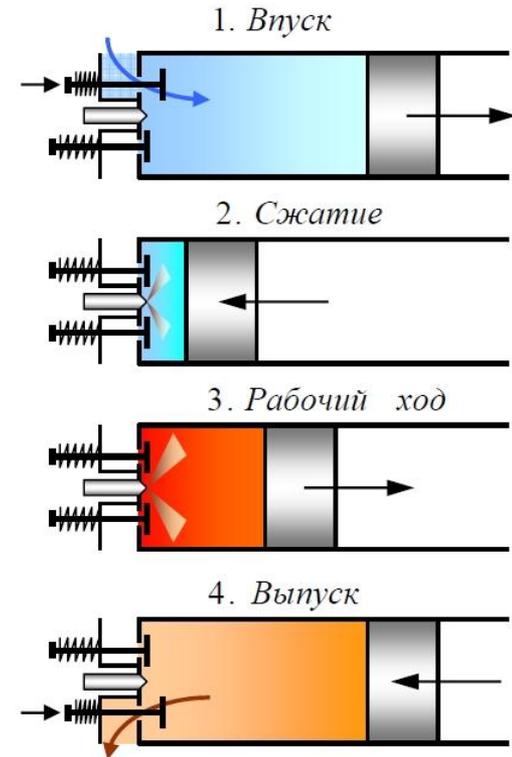
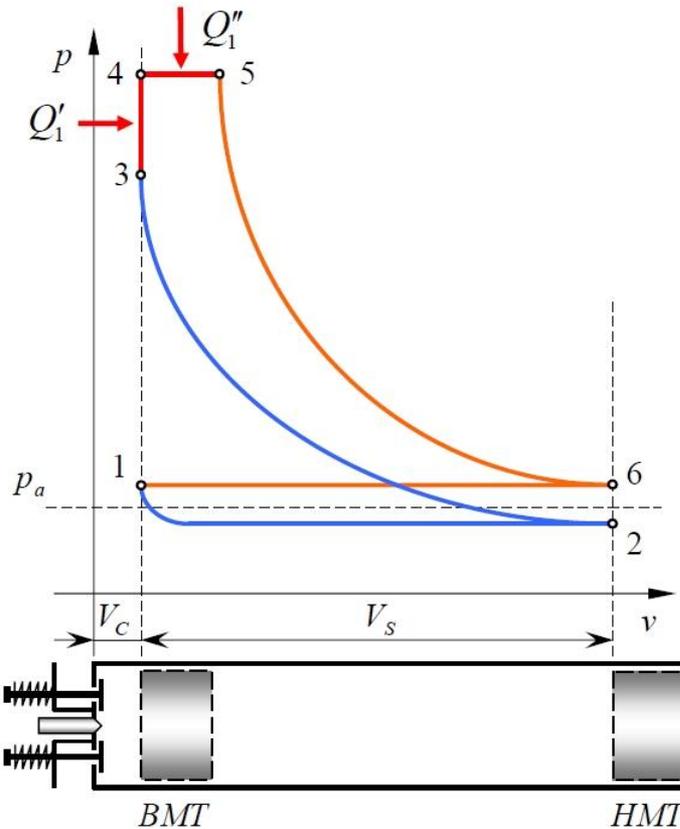
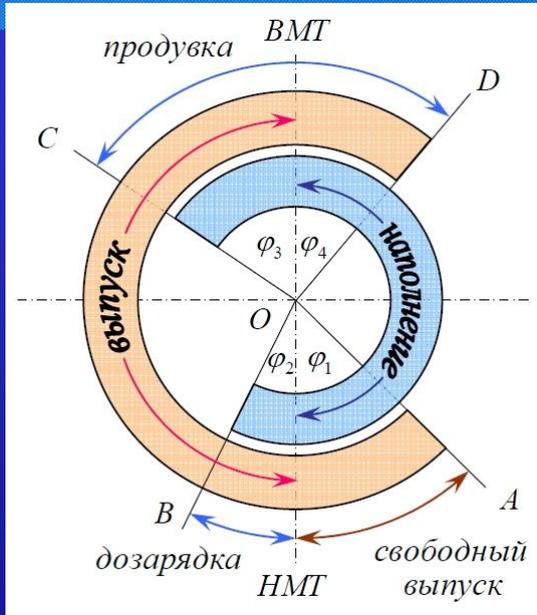
Третий такт – расширение (рабочий ход)



В начале такта расширения топливо продолжает поступать в цилиндр, и процесс сгорания  $\sim 60\%$  топлива при начале движения поршня от ВМТ к НМТ близок к изобарному (4–5). По окончании сгорания топлива происходит расширение продуктов сгорания (5–6). Расширяющиеся продукты сгорания воздействуют на поршень, совершая полезную работу. Давление газов в цилиндре двигателя и их температура в ходе процесса расширения понижаются.

# РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА 4-Х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

## Четвертый такт – выпуск



По окончании хода расширения открывается выпускной клапан и поршень начинает движение от НМТ к ВМТ. При этом происходит выпуск отработавших газов через выпускной клапан (6–1). Давление в цилиндре в процессе выпуска газов несколько выше атмосферного за счет гидравлического сопротивления выпускного клапана.

# ПРОЦЕСС ГАЗООБМЕНА В 4-Х ТАКТНОМ ДИЗЕЛЕ

В 4-х тактных дизелях на газообмен отведено  $550^{\circ}$ ... $570^{\circ}$  поворота коленчатого вала (ПКВ).

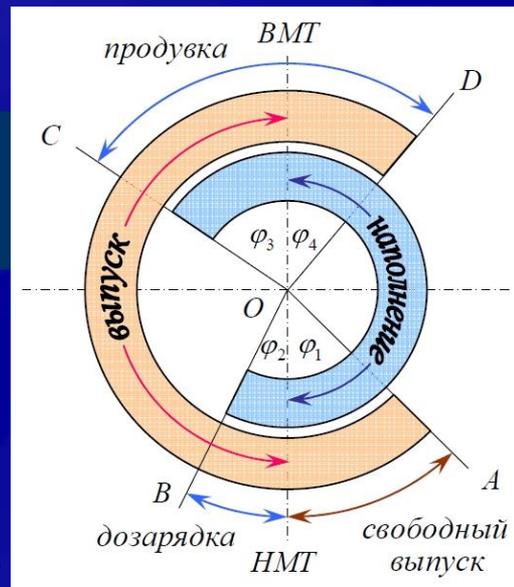
**Свободный выпуск** – осуществляется за счет разницы атмосферного давления и давления в цилиндре двигателя в момент открытия выпускного клапана (линия  $O-A$ ). При этом газы с большой скоростью устремляются в выпускной патрубок. Продолжительность периода свободного выпуска примерно соответствует углу предвращения открытия выпускного клапана ( $\phi_1 = 40...50^{\circ}$  ПКВ). Тепловая и кинетическая энергия выпускных газов, как правило, используется для привода турбокомпрессора или работы утилизационных котлов.

**Принудительный выпуск** – теоретически начинается в НМТ и заканчивается в ВМТ. Это принудительное выталкивание продуктов сгорания из цилиндра телом поршня.

**Продувка** – в конце хода выпуска открывается впускной клапан (линия  $O-C$ ,  $\phi_3 = 40...50^{\circ}$  ПКВ до ВМТ), а выпускной - остается открытым. При двух открытых одновременно клапанах происходит продувка камеры сгорания воздухом и удаление оставшихся в цилиндре газов. Кроме того, продувка снижает температуру стенок камеры сгорания, поршня и выпускных клапанов, улучшая условия работы и увеличивая срок их службы. Продолжительность продувки составляет  $\sim 110^{\circ}$  ПКВ.

**Наполнение** – теоретически начинается в ВМТ, а фактически – с момента закрытия выпускного клапана (линия  $O-D$ ,  $\phi_4 = 50...55^{\circ}$  ПКВ за ВМТ) и частично протекает одновременно с продувкой. Окончание наполнения совпадает с приходом поршня в НМТ.

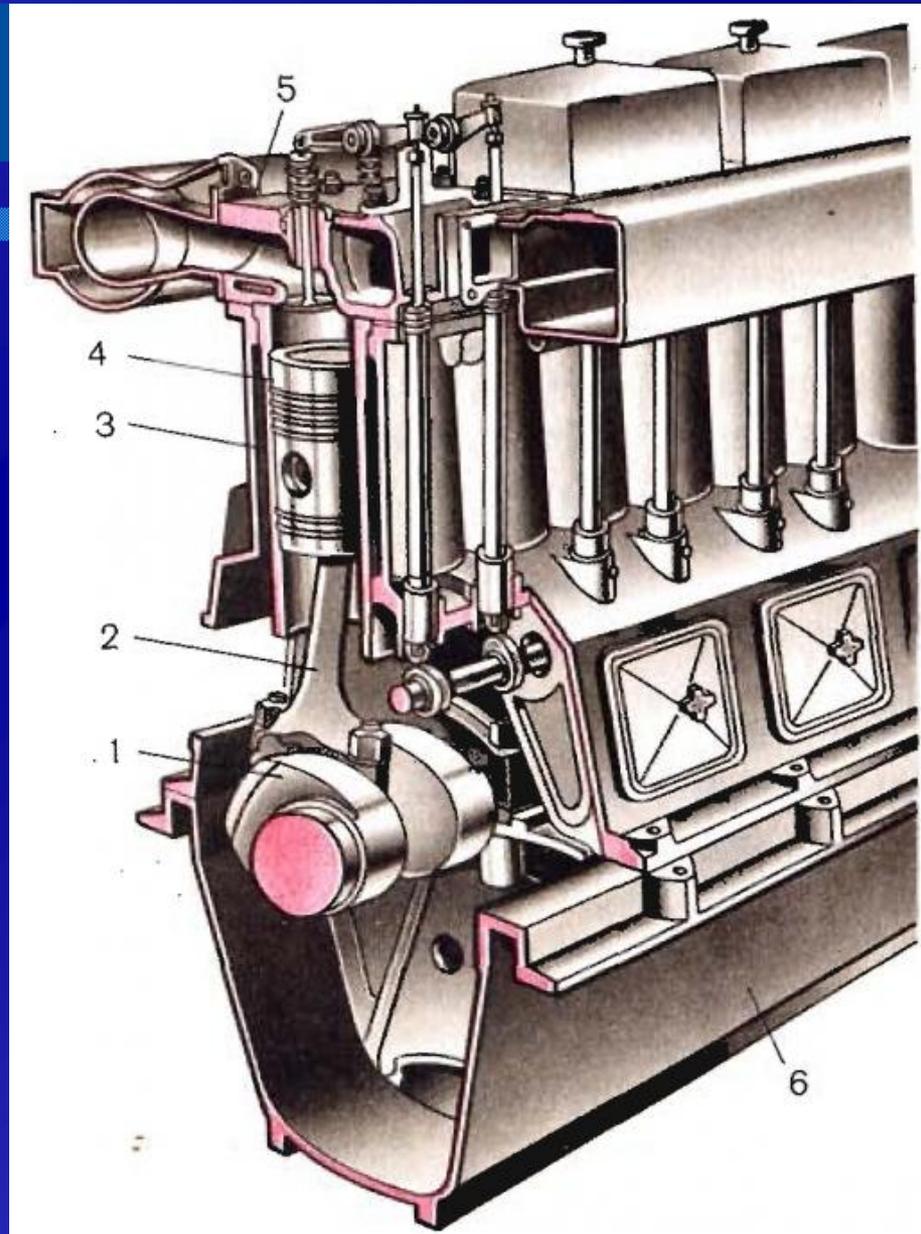
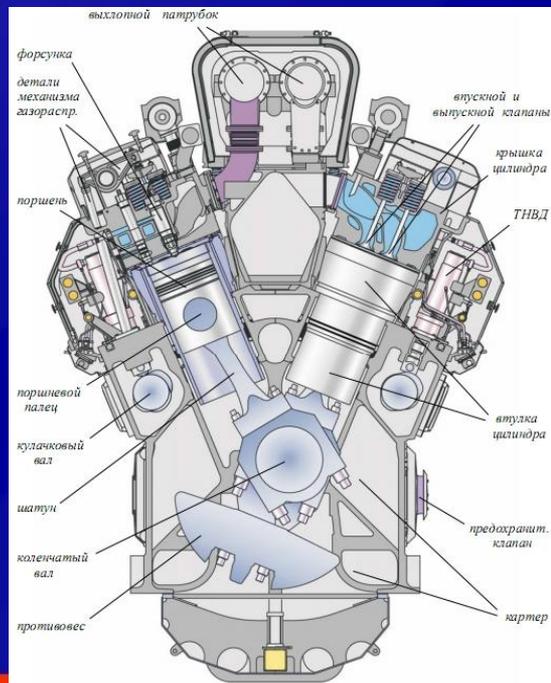
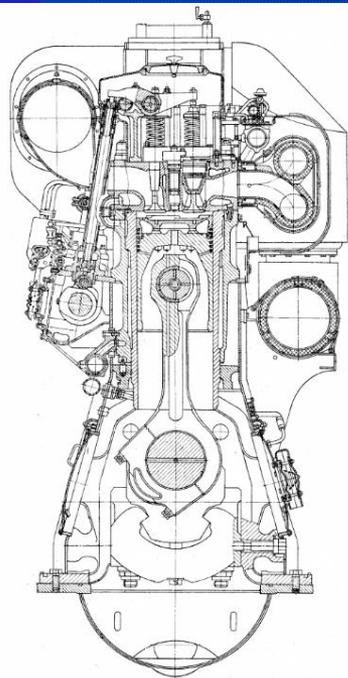
**Дозарядка** – поршень движется вверх по ходу сжатия, а впускной клапан некоторое время остается открытым до момента, соответствующего линии  $O-B$  ( $\phi_2 = 30...40^{\circ}$  ПКВ после НМТ). Воздух продолжает поступать в цилиндр по инерции и несколько увеличивает плотность заряда в цилиндре.



# КОНСТРУКЦИЯ 4-х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

- 1 – коленчатый вал;
- 2 – шатун;
- 3 – цилиндровая втулка;
- 4 – поршень;
- 5 – газораспределительный механизм;
- 6 – картер

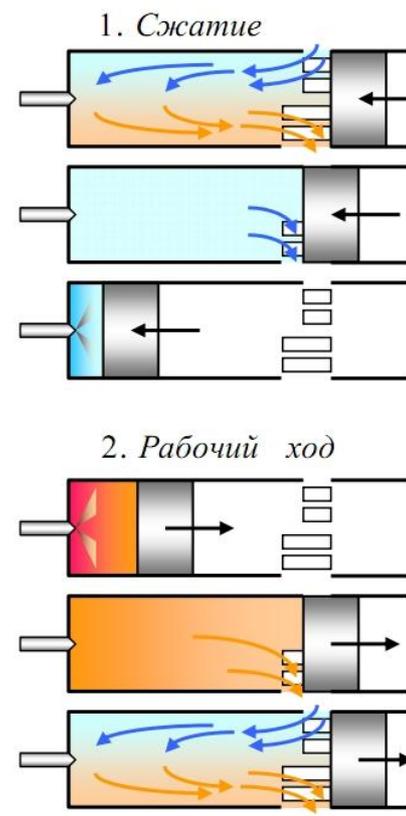
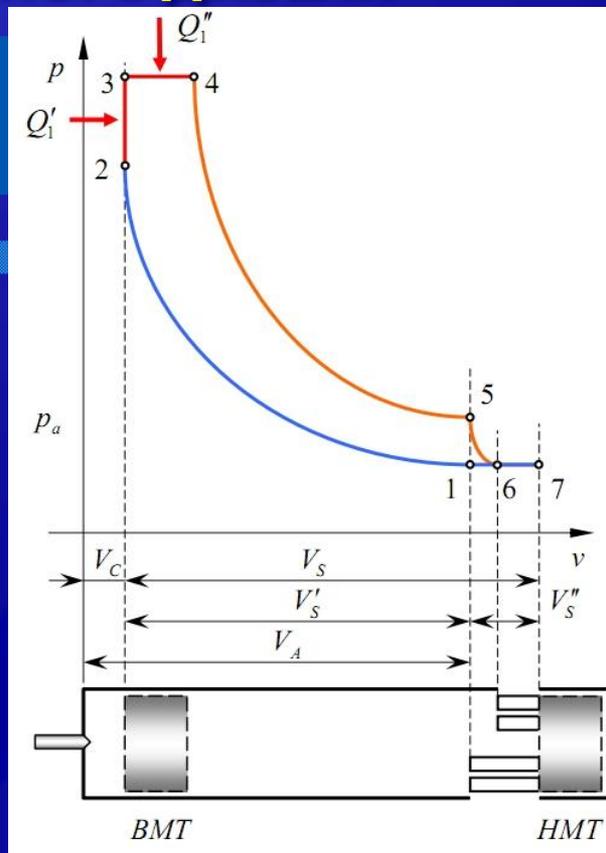
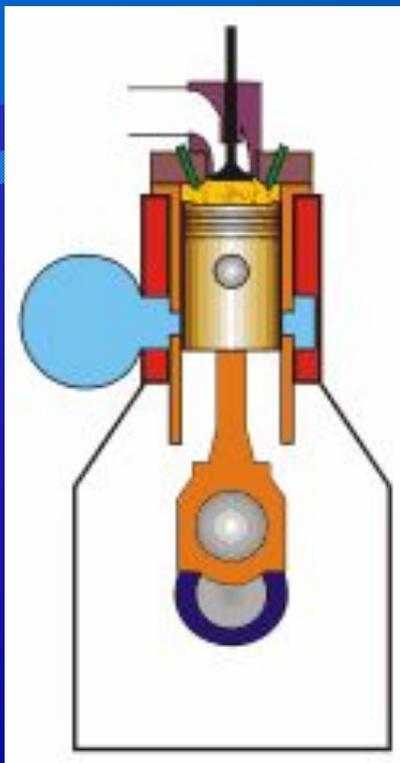
6СН 40/46





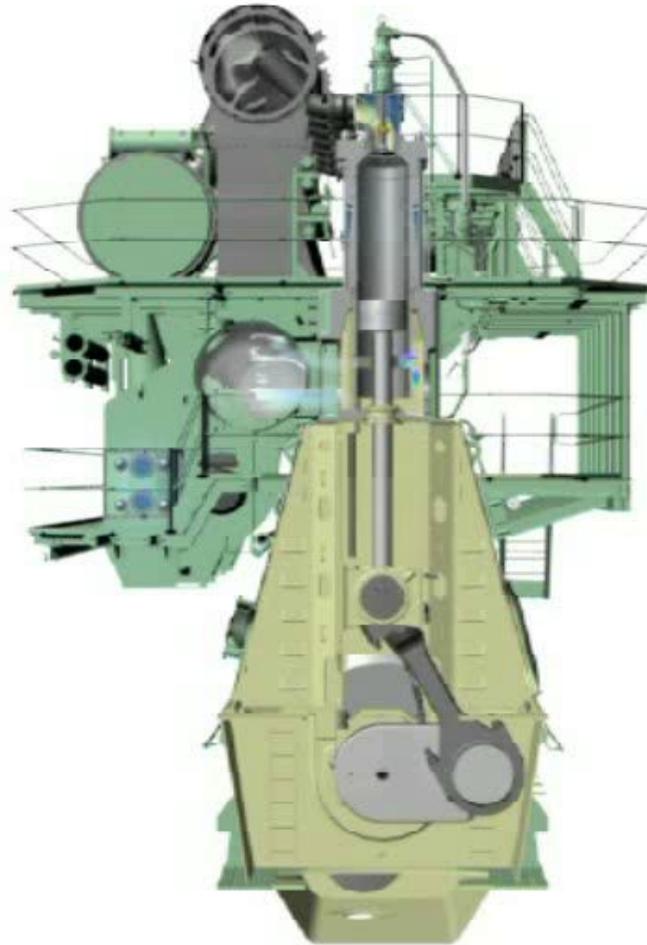
# РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА 2-Х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ

Второй такт – рабочий ход  
(расширение)

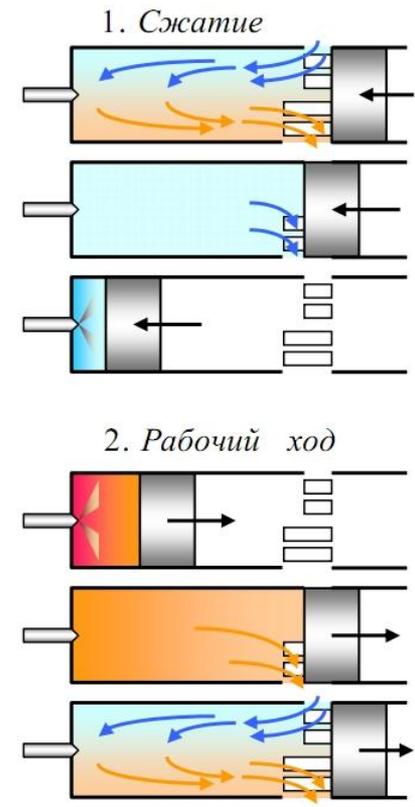
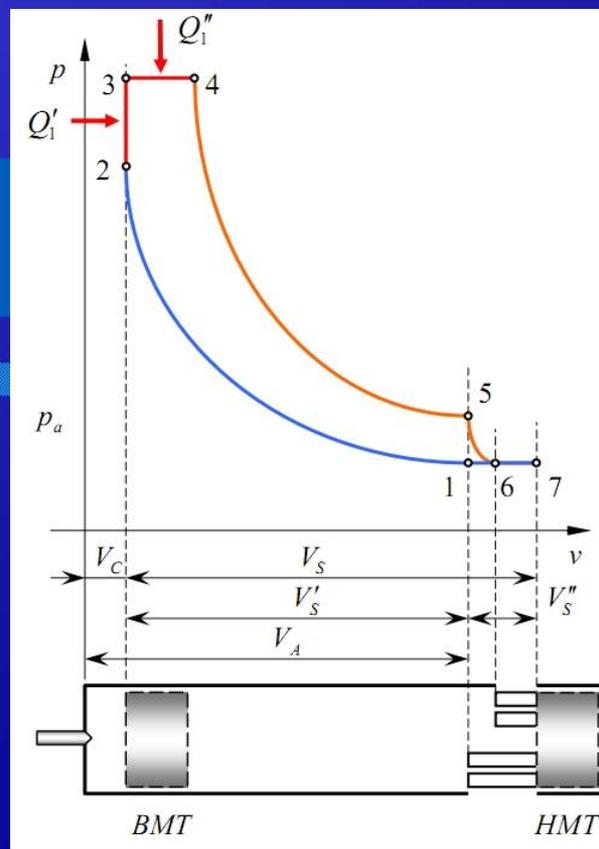


Поршень начинает движение от ВМТ к НМТ. Оставшаяся часть топлива ( $\sim 60\%$ ) сгорает при постоянном давлении (процесс 3-4). После полного сгорания топлива происходит расширение горячих газов (линия 4-5), которое заканчивается, когда поршень своей кромкой откроет выпускные окна в точке 5. С этого момента начинается свободный выпуск отработавших газов, сопровождающийся резким понижением давления в цилиндре (процесс 5-6). В точке 6 поршень открывает продувочные окна и начинается продувка цилиндра – принудительное вытеснение из него потоком воздуха отработавших газов и заполнение свежим зарядом воздуха (процессы 6-7 и 7-6).

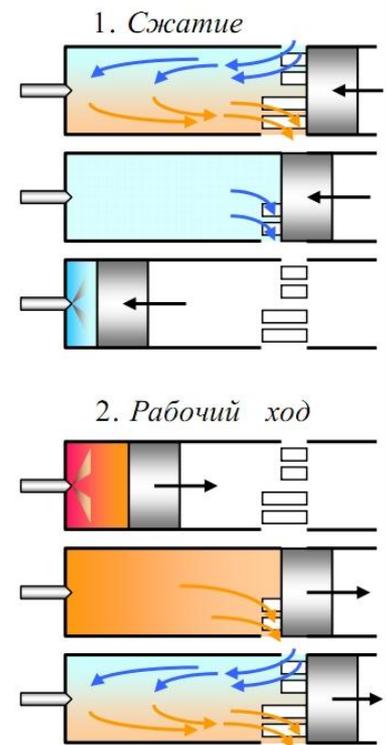
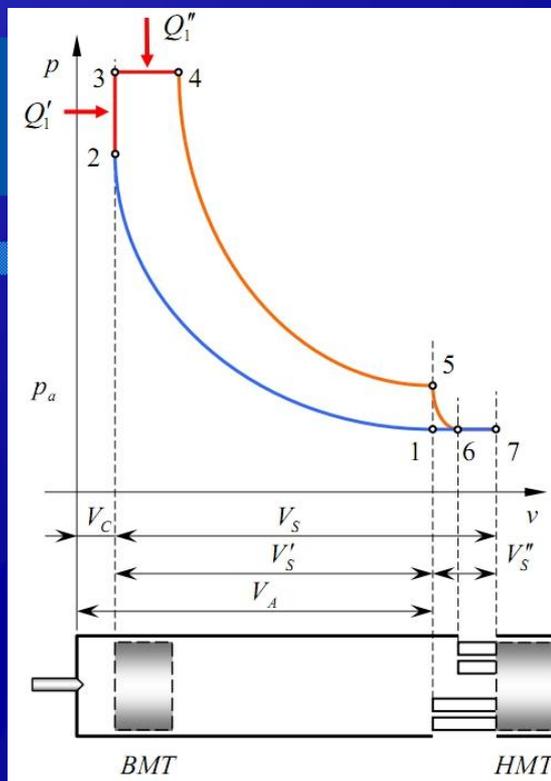
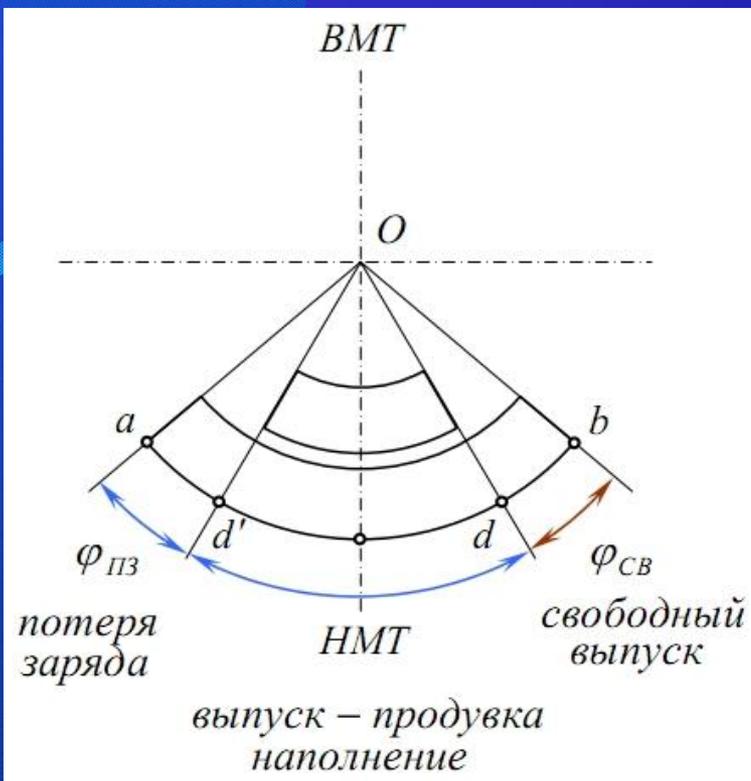
## РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС 2-Х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ



# РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА 2-Х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ



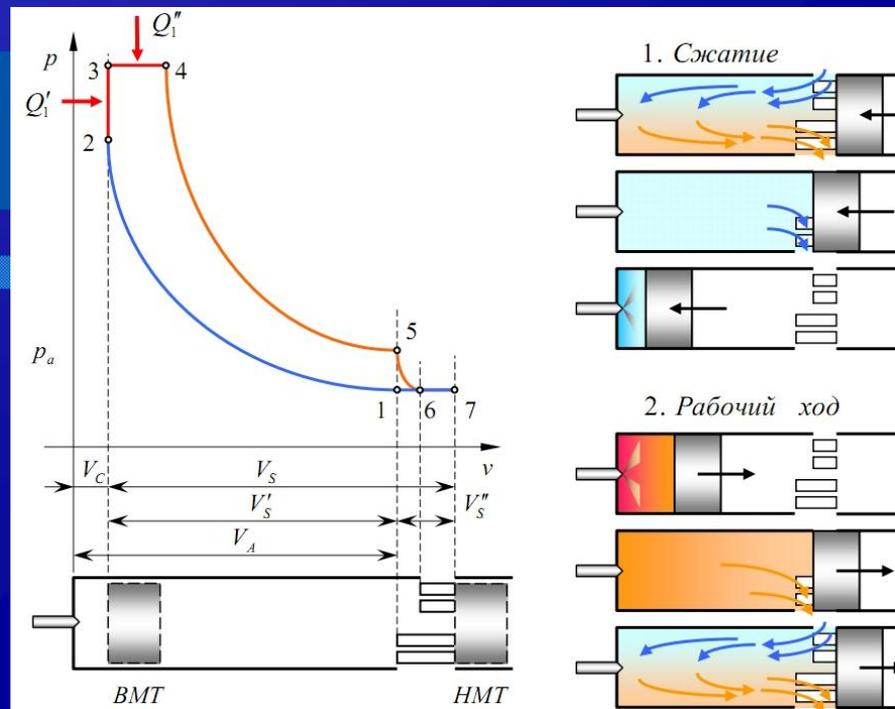
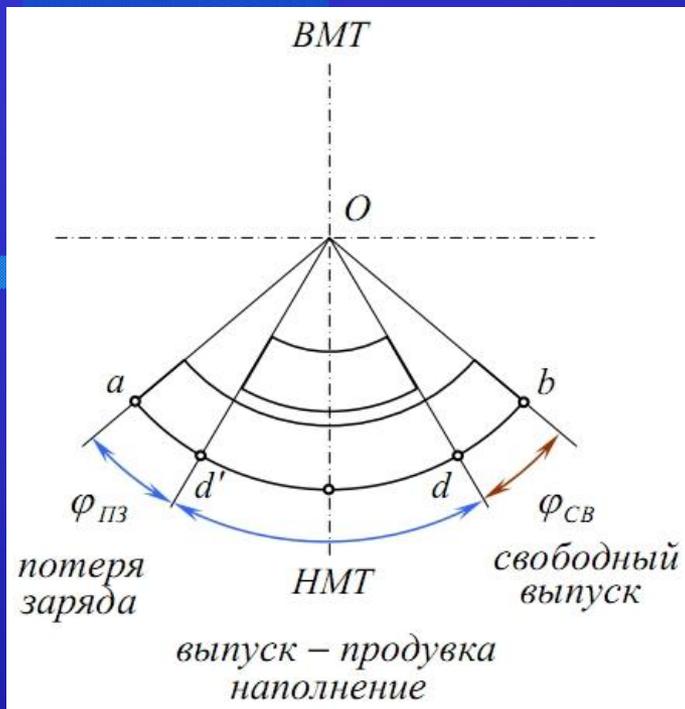
# ПРОЦЕСС ГАЗООБМЕНА В 2-Х ТАКТНОМ ДИЗЕЛЕ



В 2-х тактных дизелях время, отводимое на рабочий цикл, используется более полно, т. к. рабочий цикл осуществляется за один оборот коленчатого вала. Необходимая замена отработавших газов свежим воздухом происходит на небольшой части хода поршня в конце такта расширения и в начале такта сжатия, и составляет  $\sim 140...150^\circ$  ПКВ.

**Свободный выпуск** – начинается с момента открытия поршнем выпускных окон (линия  $O-b$ ) и заканчивается в момент открытия поршнем продувочных окон (линия  $O-d$ ). В этот период происходит интенсивный выброс отработавших газов в выпускной тракт за счет перепада давлений в цилиндре ( $\sim 0,45$  МПа) и в выхлопном патрубке ( $\sim 0,14$  МПа).

# ПРОЦЕСС ГАЗООБМЕНА В 2-Х ТАКТНОМ ДИЗЕЛЕ



**Принудительный выпуск и продувка** – начинаются в точке  $d$  и заканчиваются в момент закрытия продувочных окон (линия  $O-d'$ ). При этом происходит принудительное вытеснение отработавших газов продувочным воздухом и одновременное заполнение цилиндра свежим зарядом.

**Потеря заряда воздуха** – объясняется тем, что верхние кромки выпускных окон расположены выше продувочных. Поршень при движении к ВМТ до момента закрытия выпускных окон (линия  $O-a$ ) успевает вытолкнуть через выпускные окна часть поступившего в цилиндр воздуха. Фаза потери заряда воздуха является **нежелательной**, поэтому существует ряд конструктивных решений для замены ее на фазу дозарядки. Например, вместо щелевой схемы продувки используют прямооточную клапанно-щелевую схему. В таких конструкциях дизелей выпускные окна отсутствуют, а вместо них в крышке цилиндра устанавливается выпускной клапан, приводимый в действие от механизма газораспределения.

# КОНСТРУКЦИЯ 2-х ТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ



## 2-х тактный рядный дизель

Крейцкопфные реверсивные с непосредственной передачей на гребной вал, газотурбинным наддувом и прямоточной клапанно-щелевой продувкой.

В РФ изготавливают 2 модели: ДКРН 50/110 и ДКРН 74/160:

Технические характеристики ДКРН 74/160-3:

диаметр цилиндра - 740 мм,

- Ход поршня - 1600 мм,

- Число цилиндров - 6...8,

- Номинальная мощность - 8530...11360 кВт,

- Частота вращения - 124 об/мин,

- Среднее эффективное давление - 1,00 МПа,

- Степень сжатия - 12,0,

- Максимальное давление сгорания - 6,85 МПа,

- Давление наддувочного воздуха 0,191 МПа,

- Средняя скорость поршня - 6,6 м/с,

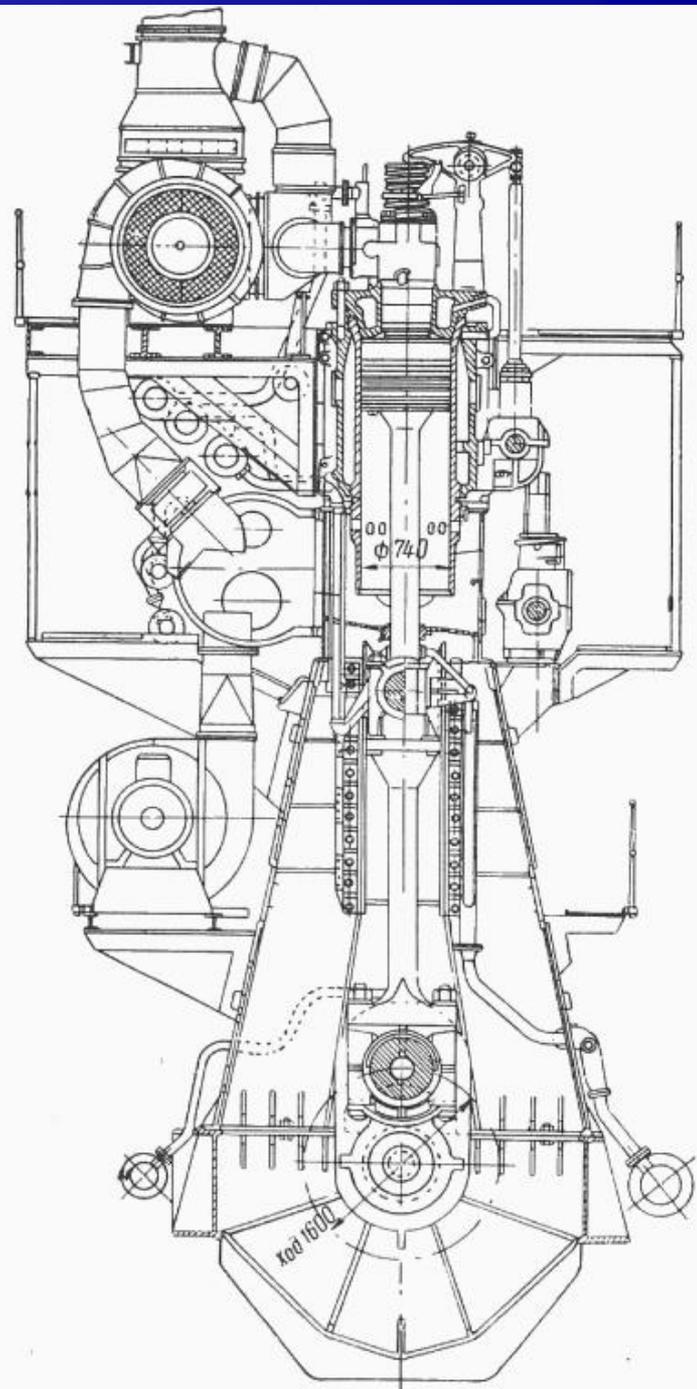
- Удельный расход топлива - 212 г/(кВтч),

- Удельный расход масла - 0,57...0,70 г/(кВтч),

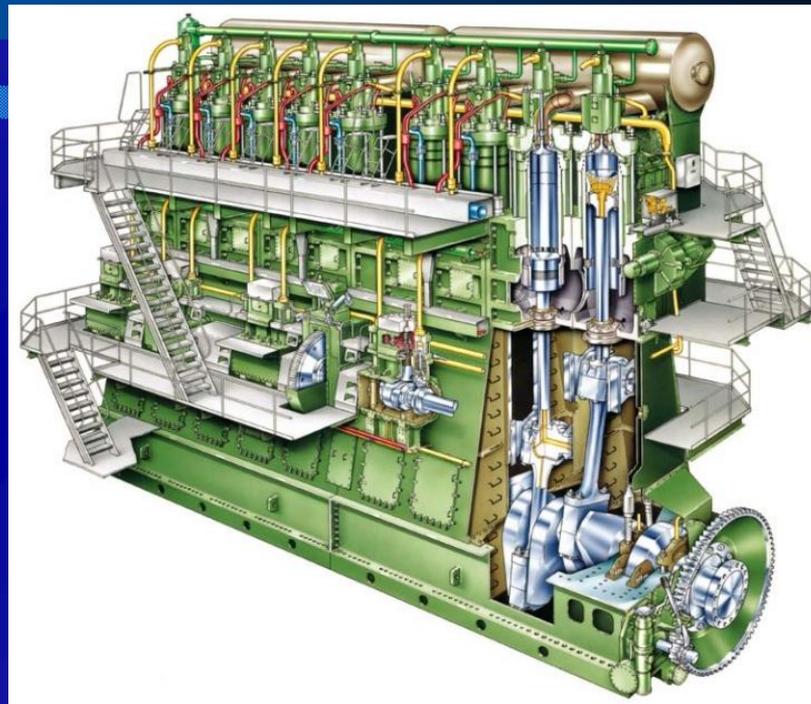
- Ресурс до капитального ремонта - 120000 ч,

- Порядок работы цилиндров - 1-6-2-4-3-5, 1-8-3-4-7-2-5-6,

- Доля потеряннного хода поршня - 0,08.



## СУДОВЫЕ 2-х И 4-х ТАКТНЫЕ ДИЗЕЛИ



При одинаковых размерах цилиндра и равных частотах вращения теоретически 2-х тактный дизель может развивать мощность в 2 раза большую, чем 4-х тактный.

В действительности мощность 2-х тактного дизеля (при прочих равных условиях) больше лишь в **1,7...1,8 раза**, чем у 4-х тактного, так как часть хода поршня затрачивается на процессы выпуска и продувки. Кроме того, на привод навешенного на двигатель продувочного устройства затрачивается 6...8 % мощности двигателя.