



***Дисциплина: «Подвижной состав железных дорог»***

***Название лекции: «Тепловозные дизели»***

***Содержание лекции:***

- 1. Общие принципы и работа ДВС***
- 2. Четырехтактные ДВС***
- 3 Двухтактные ДВС***
- 4 Характеристики дизелей***

## *1. Общие принципы и работа ДВС*

- **Общие принципы устройства и работы двигателей внутреннего сгорания**
- В цилиндрах двигателей внутреннего сгорания, как в энергетической установке, в одном объеме и практически одновременно (в течение одного цикла) происходят два основных этапа процесса преобразования энергии (в термодинамических циклах эти этапы были представлены как подвод теплоты и расширение рабочего тела), а именно:
  - преобразование внутренней химической энергии топлива в тепловую энергию (в виде сгорания топлива);
  - преобразование полученной теплоты в механическую работу движения поршня.

## *1. Общие принципы и работа ДВС*

- Именно поэтому машины этого типа и называют двигателями внутреннего сгорания — в отличие от паросиловых установок, в которых сгорание топлива осуществляется вне двигателя. Совмещение двух этапов в одном месте способствует сокращению потерь энергии (теплоты) и повышению КПД теплового двигателя. В зависимости от характера цикла различают д.в.с. четырехтактные и двухтактные. Под *тактом* рабочего цикла понимают его часть, протекающую за один ход поршня.

## 2 Четырехтактные ДВС

- **Общее устройство и принцип действия дизеля** рассмотрим на примере одного цилиндра простейшего четырехтактного бескомпрессорного дизеля. Двигатель (рис. 2.1, *a*) состоит из неподвижного цилиндра 3, составляющего вместе с рамой 2 и поддоном 1 единую конструкцию, называемую остовом двигателя. Сверху внутреннее пространство цилиндра ограничено крышкой, в днище которой размещены впускной 4 и выпускной 6 клапаны и форсунка 5 для подачи топлива в цилиндр.

## *2. Четырехтактные ДВС*

- Движущиеся детали дизеля: поршень *7*, шатун *8*, кривошип *9* и вал *10* — объединены с помощью шарниров (подшипников) и составляют шатунно-поршневую группу. При работе двигателя поршень совершает возвратно-поступательное движение вдоль продольной оси цилиндра, которое кривошипно-шатунный механизм преобразует во вращательное движение вала *10*.

## *2. Четырехтактные ДВС*

- При сгорании топлива в объеме сжатого воздуха (между стенками и крышкой цилиндра 3 и днищем поршня 7) образуются газы — продукты сгорания топлива. Вследствие этого давление в цилиндре резко и существенно возрастает, что и приводит к перемещению поршня под действием сил давления газов на его днище.



## *2. Четырехтактные ДВС*

- Таким образом, тепловая энергия продуктов сгорания топлива преобразуется в цилиндре двигателя в механическую работу. После расширения газы выпускаются из внутреннего пространства цилиндра через выпускной клапан б.
- Поршень двигателя циклически перемещается в цилиндре между двумя крайними положениями, в которых он меняет направление своего движения

## 2. *Четырехтактные ДВС*

- Положение поршня при наибольшем удалении его от вала называется *верхней мертвой точкой* (в.м.т.). Наиболее близкое к валу положение поршня называется *нижней мертвой точкой* (н.м.т.). Эти положения принято называть «мертвыми точками» потому, что мгновенная скорость движения поршня в этих точках равна нулю, поршень в эти мгновения неподвижен, так как изменяется направление его движения.



## 2. *Четырехтактные ДВС*

- Величина хода поршня  $S$  определяется расстоянием между этими точками, и она равняется длине двух радиусов  $R$  кривошипа:  $S = 2R$ . Каждому ходу поршня соответствует поворот кривошипа и вала двигателя на  $180^\circ$ , т.е. за один оборот вала поршень делает два хода.
- Объем внутреннего пространства цилиндра, занимаемый газами при положении поршня в в.м.т., называется *объемом камеры сжатия* —  $V_c$ .

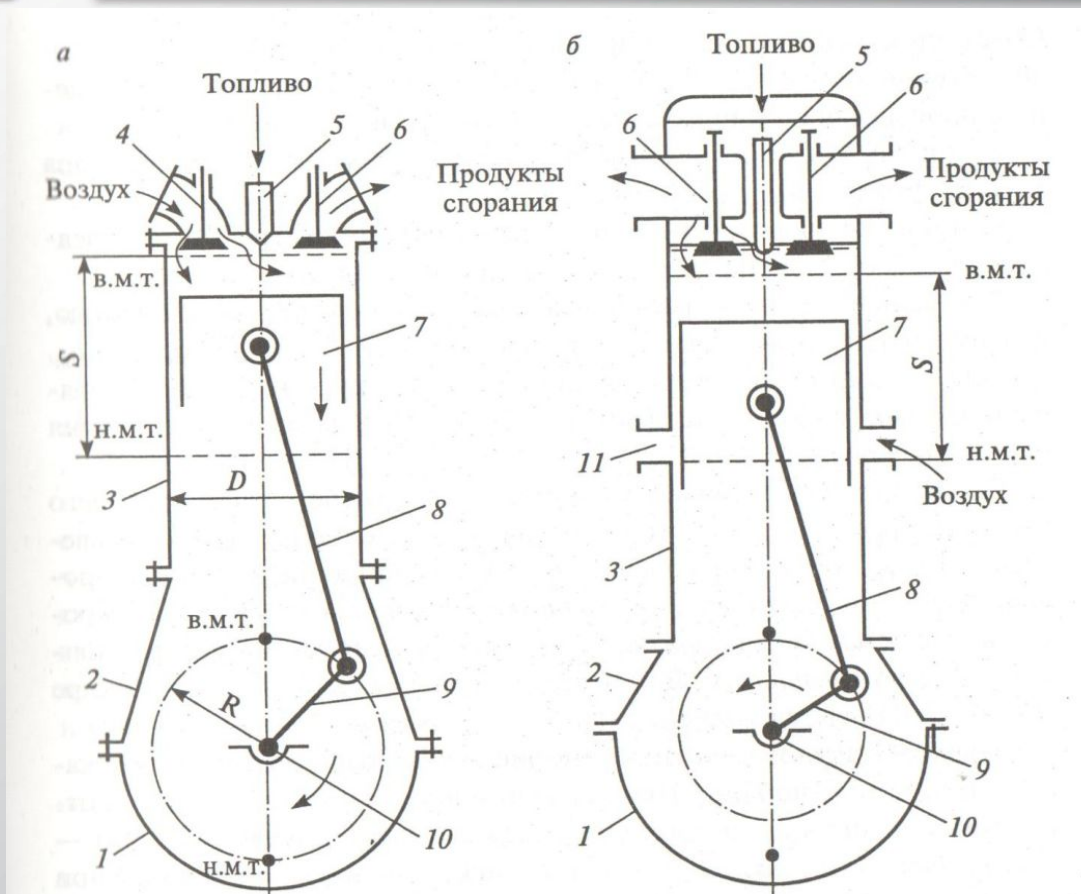


Рис. 2.1. Схемы устройства двигателей внутреннего сгорания:

*а* — четырехтактного дизеля; *б* — двухтактного дизеля с клапанно-щелевой продувкой; 1 — поддон (картер); 2 — рама; 3 — цилиндр; 4 и 6 — впускной и выпускной клапаны; 5 — форсунка; 7 — поршень; 8 — шатун; 9 — кривошип; 10 — вал; 11 — впускное окно

- Движущиеся детали дизеля: поршень *7*, шатун *8*, кривошип *9* и вал *10* — объединены с помощью шарниров (подшипников) и составляют шатунно-поршневую группу. При работе двигателя поршень совершает возвратно-поступательное движение вдоль продольной оси цилиндра, которое кривошипно-шатунный механизм преобразует во вращательное движение вала *10*.

## 2. *Четырехтактные ДВС*

- ***Остов (корпус)*** состоит из неподвижных деталей (узлов), поддерживающих движущиеся детали кривошипно-шатунного механизма и воспринимающих усилия, возникающие при работе двигателя и от силы тяжести его основных узлов, передающих их воздействие на общую главную раму локомотива. В остов обычно входят фундаментная рама, которая может использоваться и как картер (емкость для смазочного масла); блок цилиндров с цилиндрами втулками (гильзами); крышки цилиндров и всех неподвижных подшипниковых узлов двигателя, в которых вращаются его валы, начиная с главного — коленчатого вала дизеля

## *2. Четырехтактные ДВС*

- ***Кривошипно-шатунный механизм***, воспринимающий силы давления газов, преобразует возвратно-поступательное движение поршней в цилиндрических втулках во вращательное движение коленчатого вала и сообщает валу двигателя вращающий момент. К этому механизму относятся поршни с поршневыми кольцами, уплотняющими рабочее пространство внутри цилиндров при движении поршней, поршневые пальцы, соединяющие шарнирно поршни с верхними головками шатунов; шатуны с подшипниками в их верхних и нижних головках, и коленчатый вал.



## *2. Четырехтактные ДВС*

- *Газораспределительный механизм* управляет процессами впуска в цилиндры свежего заряда воздуха и выпуска отработавших газов — продуктов сгорания топлива. К механизму относятся: рабочие клапаны (впускные и выпускные — в четырехтактных двигателях и только впускные либо выпускные — в двухтактных), их пружины, рычаги, штанги толкателей; кулачковые распределительные валы; зубчатые колеса, передающие вращение от коленчатого вала к распределительным.



## *Характеристики дизелей*

- *Топливная и регулирующая аппаратура* дизеля, предназначенная для управления и регулирования подачи топлива, его впрыска и распыливания в цилиндрах, включает в себя топливные насосы высокого давления, форсунки и регуляторы частоты вращения коленчатого вала дизеля.

## *Характеристики дизелей*

- Кроме основного оборудования, возможность работы дизеля поддерживается так называемым ***вспомогательным оборудованием*** дизеля. К нему относятся системы, обеспечивающие функционирование дизеля.

## *Характеристики дизелей*

- Топливная система дизеля  
(топливоподкачивающие насосы низкого давления, топливные баки, фильтры очистки топлива и соединяющие их с собственно дизельным двигателем трубопроводы);

## *Характеристики дизелей*

- Система смазки дизеля объединяет устройства и механизмы, которые обеспечивают подачу смазки (смазочного масла) к движущимся деталям для уменьшения сил трения в механизмах и отвода от них выделяющейся теплоты (масляные насосы, фильтры очистки масла разных типов, теплообменники, отводящие теплоту от смазочного масла, циркулирующего в системе);

## *Характеристики дизелей*

- **Общее устройство и принцип действия дизеля:** простейшего четырехтактного бескомпрессорного дизеля. Двигатель (рис. 4.9, *a*) состоит из неподвижного цилиндра 3, составляющего вместе с рамой 2 и поддоном 1 единую конструкцию, называемую остовом двигателя. Сверху внутреннее пространство цилиндра ограничено крышкой, в днище которой размещены впускной 4 и выпускной 6 клапаны и форсунка 5 для подачи топлива в цилиндр.

## Характеристики дизелей

- Движущиеся детали дизеля: поршень *7*, шатун *8*, кривошип *9* и вал *10* — объединены с помощью шарниров (подшипников) и составляют шатунно-поршневую группу. При работе двигателя поршень совершает возвратно-поступательное движение вдоль продольной оси цилиндра, которое кривошипно-шатунный механизм преобразует во вращательное движение вала *10*.



## *Характеристики дизелей*

- При сгорании топлива в объеме сжатого воздуха (между стенками и крышкой цилиндра 3 и днищем поршня 7) образуются газы — продукты сгорания топлива. Вследствие этого давление в цилиндре резко и существенно возрастает, что и приводит к перемещению поршня под действием сил давления газов на его днище.

## *Характеристики дизелей*

- Таким образом, тепловая энергия продуктов сгорания топлива преобразуется в цилиндре двигателя в механическую работу. После расширения газы выпускаются из внутреннего пространства цилиндра через выпускной клапан б.

## *Характеристики дизелей*

- Поршень двигателя циклически перемещается в цилиндре между двумя крайними положениями, в которых он меняет направление своего движения. Положение поршня при наибольшем удалении его от вала называется *верхней мертвой точкой* (в.м.т.). Наиболее близкое к валу положение поршня называется *нижней мертвой точкой* (н.м.т.). Эти положения принято называть «мертвыми точками» потому, что мгновенная скорость движения поршня в этих точках равна нулю, поршень в эти мгновения неподвижен, так как изменяется направление его движения.

## *Характеристики дизелей*

- Величина хода поршня  $S$  определяется расстоянием между этими точками, и она равняется длине двух радиусов  $R$  кривошипа:  $S = 2R$ . Каждому ходу поршня соответствует поворот кривошипа и вала двигателя на  $180^\circ$ , т.е. за один оборот вала поршень делает два хода.
- Объем внутреннего пространства цилиндра, занимаемый газами при положении поршня в в.м.т., называется *объемом камеры сжатия* —  $V_c$ .

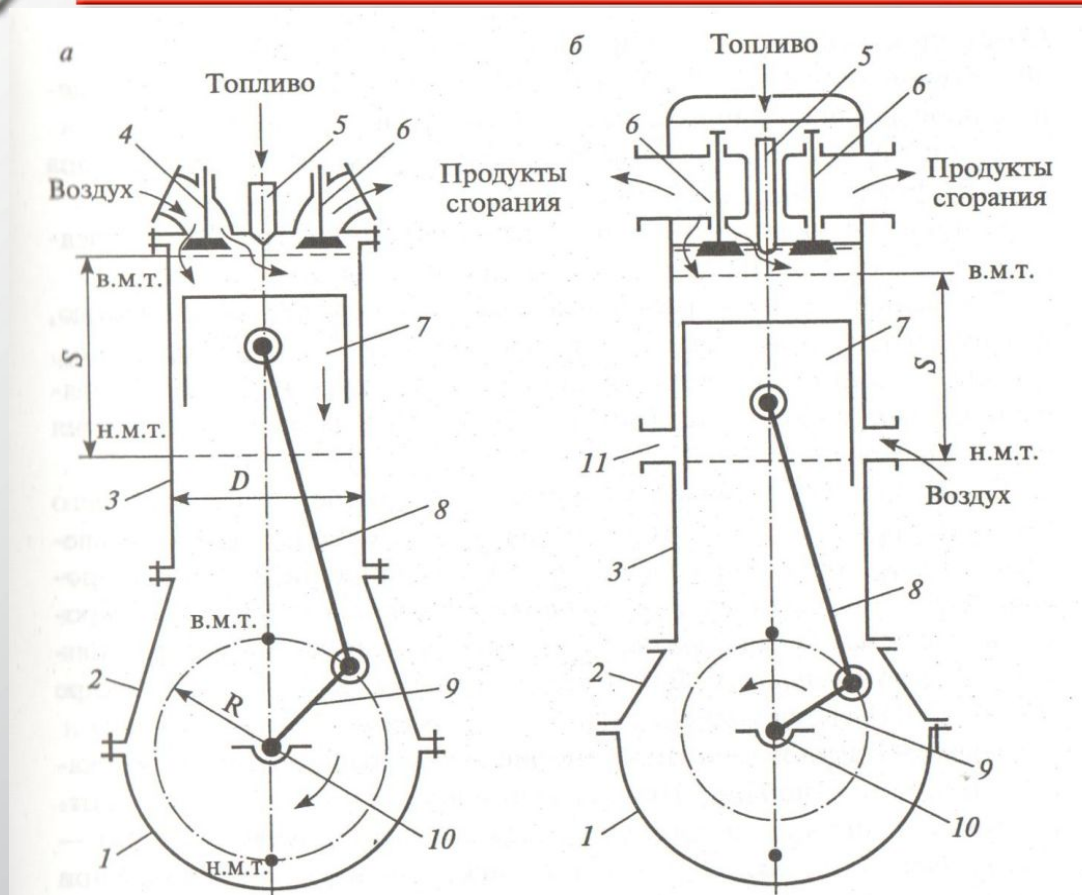


Рис. 2.1. Схемы устройства двигателей внутреннего сгорания:

*а* — четырехтактного дизеля; *б* — двухтактного дизеля с клапанно-щелевой продувкой; 1 — поддон (картер); 2 — рама; 3 — цилиндр; 4 и 6 — впускной и выпускной клапаны; 5 — форсунка; 7 — поршень; 8 — шатун; 9 — кривошип; 10 — вал; 11 — впускное окно



## *Характеристики дизелей*

- Объем пространства в цилиндре между в.м.т. и н.м.т. называется *рабочим объемом* цилиндра —  $V_h$ . Рабочий объем цилиндра равен произведению площади поперечного сечения цилиндра на ход поршня: (здесь  $D$ — диаметр цилиндра).
- Полный объем цилиндра  $V$  равен сумме  $V_h$  и  $V_c$ , т.е.  $V = V_h + V_c$ .
- Отношение полного объема цилиндра к объему камеры сжатия представляет собой степень сжатия  $\epsilon$  данного двигателя.



## *Характеристики дизелей*

- Поршень в течение каждого хода движется с переменной скоростью, поэтому его движение характеризуют величиной средней скорости  $C_m$ . Так как за один оборот вала поршень проходит путь  $2S$ , а частота вращения вала  $n$  (об/мин), то средняя скорость поступательного движения поршня равна  $C_m = 2Sn/60$ .

## *Характеристики дизелей*

- Периодически повторяющаяся последовательность частей рабочего процесса преобразования теплоты в работу (заполнение цилиндра свежим зарядом, сжатие его, горение топлива, расширение и удаление продуктов сгорания) составляет *рабочий цикл двигателя*. Часть цикла, протекающая между двумя смежными положениями поршня в мертвых точках, называется *тактом*. В двигателях с одним поршнем в цилиндре такт осуществляется в течение одного хода поршня.

## *Характеристики дизелей*

- В четырехтактном двигателе (см. рис. 4.9, *a*), рабочий цикл протекает за четыре хода поршня. При движении поршня 7 вниз от в.м.т. и открытом клапане 4 цилиндр заполняется свежим воздухом (1-й такт — *наполнение*). Далее воздух сжимается движущимся вверх поршнем при закрытых клапанах 4 и 6 (2-й такт — *сжатие*). В конце сжатия форсункой 5 в цилиндр впрыскивается струя топлива, которое смешиваясь с воздухом, самовоспламеняется от его высокой температуры. Поршень под воздействием давления расширяющихся газов движется вниз (3-й такт — *рабочий ход*); 4-й такт является тактом *выпуска* отработавших газов. Поршень движется вверх и через открытый клапан 6 выталкивает газы из цилиндра

# Характеристики дизелей

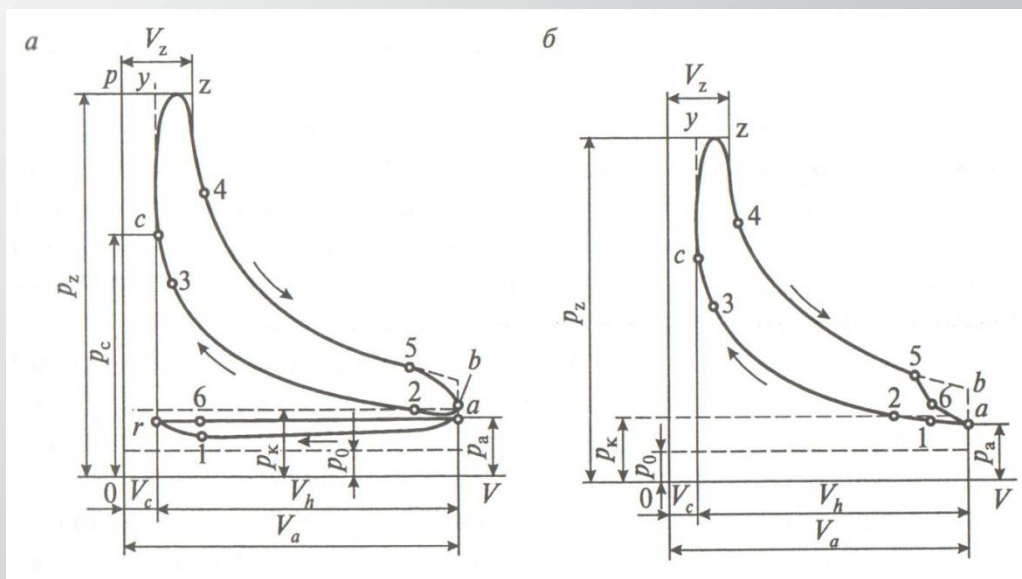


Рис. 2.2. Диаграммы рабочих циклов:

*а* — четырехтактного дизеля; *б* — двухтактного дизеля; 1 — открытие впускных клапанов (окон); 2 — закрытие впускных клапанов (окон); 3 — начало подачи топлива; 4 — окончание подачи топлива; 5 — открытие выпускных клапанов (окон); 6 — закрытие выпускных клапанов (окон)

## *Характеристики дизелей*

- В двухтактных дизелях наполнение цилиндров воздухом и удаление продуктов сгорания предыдущего цикла происходят за более короткое промежуток времени (6—а—1—2 на рис. 4.10, б).
- *Сжатие воздуха* 2 - с; впускные и выпускные клапаны закрыты. Давление воздуха в конце сжатия (в точке с)  $p_c$  достигает величин порядка 4—6 МПа, а температура воздуха  $T_c = 800—900$  К.
- *Горение топлива* с—у—z—А происходит как бы в два этапа: сначала при условно-постоянном объеме (линия с—у), а потом при условно-постоянном давлении (линия у—z). В условной точке z (а фактически между точками у и z) давление в цилиндре  $p_z$  достигает 8—12 МПа, температура конца сгорания  $T_z = 1800—2100$  К.



## *Характеристики дизелей*

- *Расширение газов  $z \rightarrow 5$ ; топливо, не успевшее сгореть в период  $c \rightarrow y \rightarrow z$ , продолжает догорать на участке расширения  $z \rightarrow 4$ . Отношение объема газа  $V_z$  к объему камеры сжатия  $V_c$  представляет степень предварительного расширения  $\rho$ . Отношение полного объема цилиндра  $V_{ak}$  к объему цилиндра в конце расчетного горения  $V_z$  называется степенью последующего расширения  $\delta$ .*



## *Характеристики дизелей*

- *Выпуск отработавших газов 5—1; в четырехтактном дизеле на всем протяжении процесса выталкивания отработавших газов их давление в цилиндре остается почти неизменным: выше атмосферного, но ниже давления воздуха при впуске (см. рис. 4.10, а, линия  $r—б—а$ ).*

## *Характеристики дизелей*

- В двухтактном дизеле после открытия выпускных клапанов или окон (точка 5, см. рис. 4.10, б) давление в цилиндре падает. Подача воздуха через впускные окна (точка 6) в процессе продувки не повышает давления в цилиндре и после того, как поршень пройдет н.м.т. и начнется такт следующего цикла. Давление нарастает лишь после закрытия выпускных клапанов или окон (точка 1).



## *Характеристики дизелей*

- **Работа и мощность двигателя.** За один цикл в цилиндре двигателя совершается полезная работа, соответствующая (пропорциональная) на индикаторной диаграмме (рис. 4.11) площади, ограниченной линиями сжатия, сгорания и расширения.
- Площадь, ограниченная линиями впуска и выпуска (см. рис. 4.10, *a*), соответствует затратам работы на вытеснение газа из цилиндра и уменьшает полезную работу газа. Но эта площадь относительно мала по сравнению с площадью, характеризующей полезную работу, и обычно при теоретическом анализе вследствие своей малости не учитывается.

## *Характеристики дизелей*

- Площадь индикаторной диаграммы, соответствующую полезной работе, можно представить в виде равновеликого по площади прямоугольника 1—2—3—4 (см. рис. 4.11) с тем же основанием. Тогда высота этого прямоугольника будет условным средним давлением, постоянным в течение хода поршня. Эту величину называют *средним индикаторным давлением*. Среднее индикаторное давление  $p_i$  — условное постоянное давление, которое, действуя на протяжении одного (рабочего) хода поршня, совершает работу, равную по величине индикаторной работе  $L_i$  за весь цикл.

## *Характеристики дизелей*

- Величину этой, полезной, индикаторной работы за цикл можно определить через индикаторное давление следующим образом. Работу совершает сила давления газов на поршень, которая равна произведению давления  $p_i$  на площадь днища поршня  $\pi D^2/4$  (здесь  $D$ — диаметр цилиндра). Сила действует на пути, равному ходу поршня  $S$ . Следовательно, индикаторная работа равна или  $W_i = p_i \cdot \pi D^2/4 \cdot S$ . Так как то, другими словами, среднее индикаторное давление  $p_{i\text{ср}}$  есть работа газов за цикл, отнесенная к единице рабочего объема цилиндра двигателя.



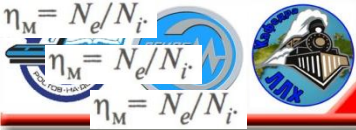
## *Характеристики дизелей*

- Работа в единицу времени, т.е., мощность  $Nt$ , развиваемая газами в цилиндрах двигателя, называется *индикаторной мощностью* двигателя. Если измерять ее в киловаттах, то ее величина
-

## *Характеристики дизелей*

- 
- где  $N_i$  — среднее индикаторное давление, МПа;  $V_c$  — рабочий объем цилиндра, м<sup>3</sup>;  
 $n$  — частота вращения вала двигателя, об/мин;  $z$  — число цилиндров двигателя;  $\tau$  — тактность (число тактов рабочего процесса за цикл) двигателя (для четырехтактного  $\tau = 4$ , для двухтактного  $\tau = 2$ ).  
(
- где — среднее индикаторное давление, МПа;  $V_c$  — рабочий объем цилиндра, м<sup>3</sup>;  
 $n$  — частота вращения вала двигателя, об/мин;  $z$  — число цилиндров двигателя;  $\tau$  — тактность (число тактов рабочего процесса за цикл) двигателя (для четырехтактного  $\tau = 4$ , для двухтактного  $\tau = 2$ ).

- **Индикаторный, механический и эффективный КПД двигателей.** Отношение количества теплоты, преобразованного в полезную работу газов в цилиндре двигателя, к количеству потенциальной теплоты, введенной в цилиндр с топливом, называется *индикаторным КПД  $\eta_i$*  двигателя. Таким образом, если на один киловатт [кВт] в течение 1 часа [ч] расходуется  $g_i$  килограмм [кг] топлива, а потенциальная теплота сгорания топлива равна  $Q$  килоджоулей на каждый килограмм [кДж/кг], то количество теплоты, введенной в цилиндр с топливом в расчете на выполнение работы в 1 кВт·ч, равно  $g_i Q$  [кДж].



● Работа в 1 кВт·ч эквивалентна 3600 кДж,  
тогда

$$\eta_i = 3600 / g_i Q_i$$

Отношение эффективной мощности к индикаторной характеризует механический КПД двигателя:

$$\eta_M = N_e / N_i$$

## Характеристики дизелей

- Отношение полезной (эффективной) работы на валу двигателя к потенциальному количеству теплоты, введенной в двигатель с топливом, называется эффективным КПД дизеля

$$\eta_e = 3600/g_e Q,$$