



**Саратовское подразделение
Приволжского учебного центра
профессиональных квалификаций**

Предмет: «Устройство тепловоза, электровоза»

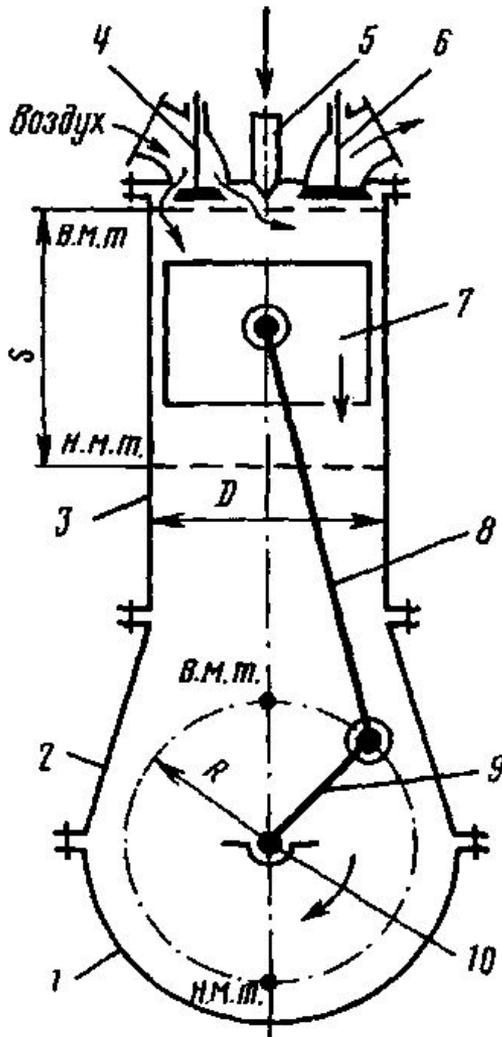
Раздел: «Дизель»

Тема урока: «Тепловой процесс дизеля. Мощность и КПД дизеля»

Преподаватель: Жуков Дмитрий Александрович
09 июня 2016 года



Принцип действия дизелей (четырёхтактный двигатель)



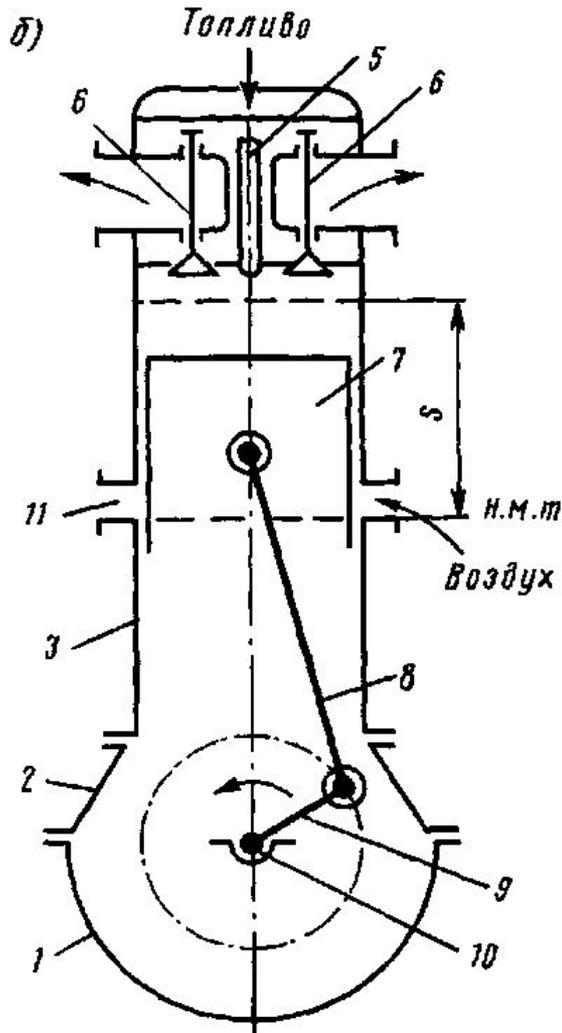
В четырёхтактном двигателе (рис.) цикл протекает за четыре хода поршня. При движении поршня 7 вниз от в.м.т. и открытом клапане 4 цилиндр заполняется воздухом (I такт – наполнение).

Далее воздух сжимается движущимся вверх поршнем при закрытых клапанах 4 и 6 (II такт – сжатие).

В конце сжатия форсункой 5 впрыскивается топливо, которое самовоспламеняется от высокой температуры воздуха. Поршень под воздействием давления расширяющихся газов движется вниз (III такт – рабочий ход).

IV такт является тактом выпуска отработавших газов. Поршень движется вверх, и через открытый клапан 6 газы выталкиваются из цилиндра. Далее начинается новый цикл и т. д.

Принцип действия дизелей (двухтактный двигатель)

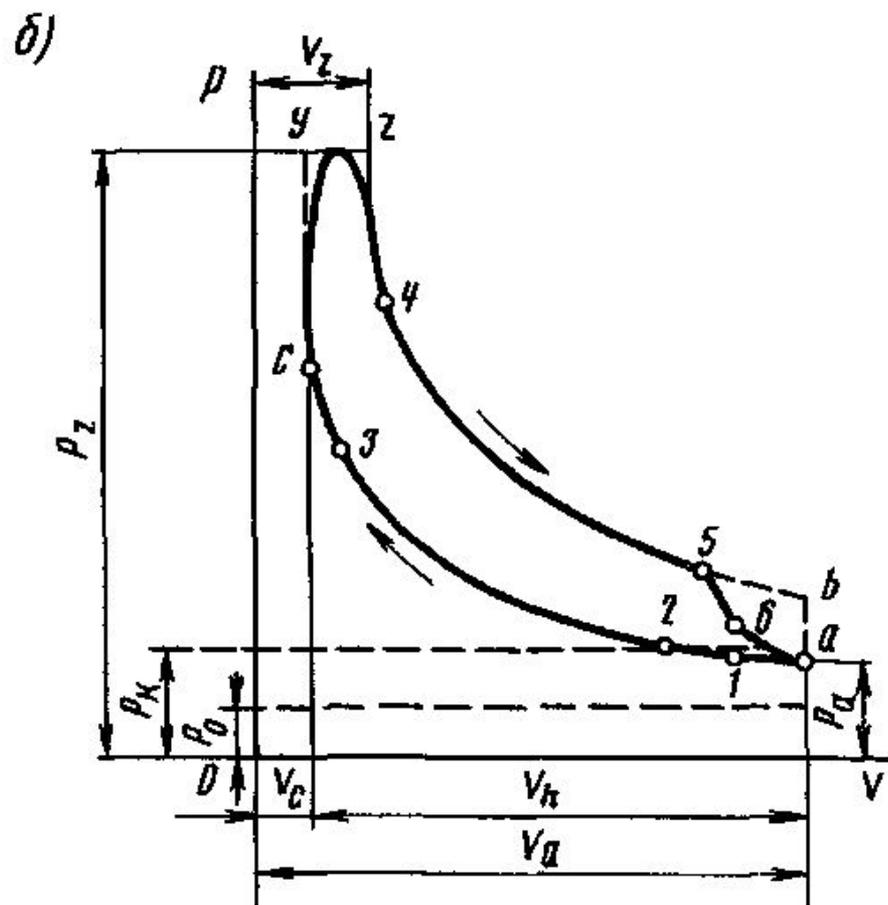
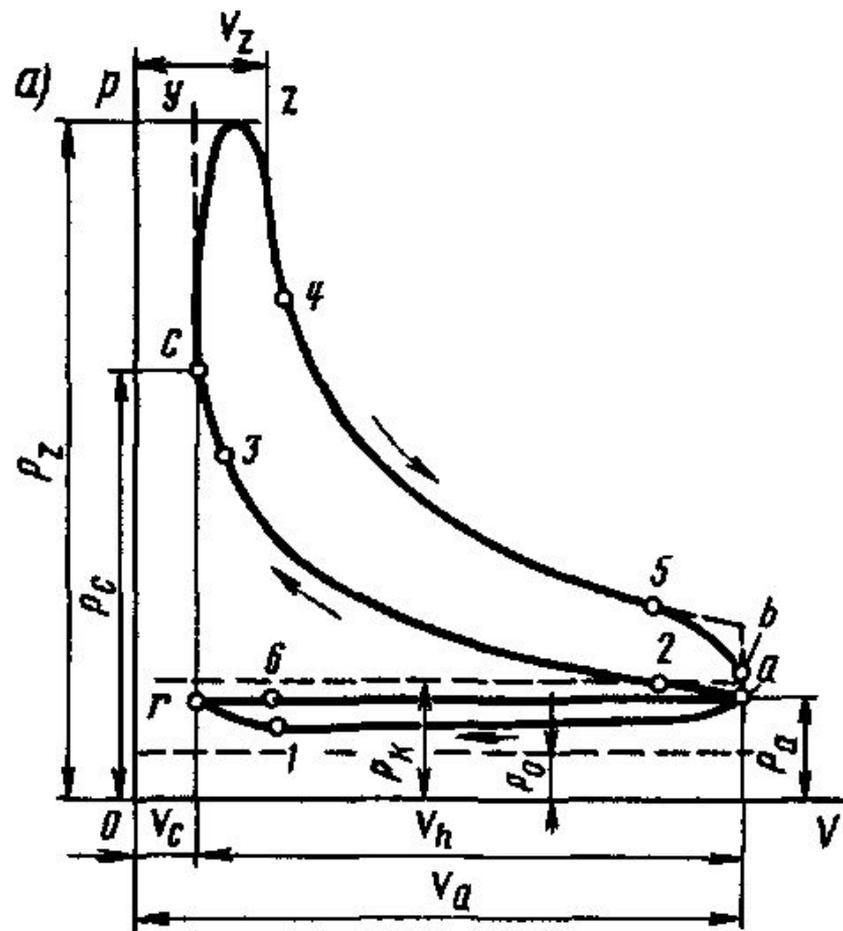


Несколько иначе протекает **рабочий цикл двухтактного дизеля** (рис.). Устройство этого двигателя отличается от предыдущего тем, что в крышке цилиндра есть только выпускные клапаны 6, а в стенках цилиндра 3 – впускные окна 11, через которые в цилиндр может поступать свежий воздух. Эти окна открываются самим поршнем при его движении в цилиндре.

При движении поршня вверх из крайнего нижнего положения сначала в цилиндр под некоторым избыточным давлением от нагнетателя поступает воздух через окна 11, затем в цилиндре происходит процесс сжатия воздуха. Давление и температура воздуха в цилиндре растут (**I такт**).

В конце такта форсункой 5 впрыскивается топливо, которое самовоспламеняется вследствие высокой температуры воздуха и сгорает. Давление газов в цилиндре резко повышается. Под давлением газов поршень из верхнего положения перемещается в нижнее, совершая полезную механическую работу (**II такт – рабочий**). В конце такта сначала открываются выпускные клапаны 6. Отработавшие газы выходят из цилиндра в выпускной коллектор. Давление их в цилиндре падает. При дальнейшем продвижении вниз поршень откроет продувочные окна 11 и свежий воздух начнет поступать в цилиндр двигателя. Происходят продувка и наполнение цилиндра воздухом. Таким образом, у двухтактного двигателя рабочий цикл совершается за два хода поршня, или за один оборот вала.

Рабочие циклы дизелей



Рабочие циклы дизелей

Рабочий процесс бескомпрессорных тепловозных дизелей практически почти соответствует идеальному смешанному циклу, при котором часть топлива сгорает при почти неподвижном поршне, т. е. при постоянном объеме, а другая часть — в начале перемещения поршня, т. е. при почти постоянном давлении.

Наглядное представление о рабочих процессах дизеля дает расчетная диаграмма рабочего цикла в координатах $p - V$ (по оси абсцисс откладываются текущие значения объема цилиндра V , а по оси ординат — соответствующие им величины давления в цилиндре p). Для оценки качества работы дизеля при помощи специального прибора — индикатора — снимается так называемая развернутая индикаторная диаграмма, в которой давления в цилиндре фиксируются в соответствии с углами поворота коленчатого вала (п.к.в). Такая диаграмма может быть пересчитана и изображена также в координатах $p - V$.

Проследим по индикаторным диаграммам протекание рабочих циклов четырехтактного (рис. 4.6, а) и двухтактного (рис. 4.6, б) дизелей. Пунктирные линии на диаграммах показывают протекание процессов теоретического цикла. Моменты открытия и закрытия клапанов (или окон) и начала подачи топлива обозначены теми же цифрами, что на рис. 4.5.

В четырехтактном дизеле длительность процесса наполнения 1—г—б—а—2 (см. рис. 4.6, а) достаточна, чтобы обеспечить очистку цилиндра от остатков отработавших газов и получить нужный заряд воздуха для сгорания топлива. В двухтактных дизелях наполнение цилиндра воздухом и удаление продуктов сгорания происходят за более короткий промежуток времени (б—а—2 на рис. 4.6, б).

Рабочие циклы дизелей

Сжатие воздуха 2—с происходит по политропическому процессу. Давление сжатия p_c в современных дизелях достигает значения 6 МПа, а температура T_c — 900 К.

Горение топлива с—у—г—4 происходит в два этапа: сначала при условно-постоянном объеме (линия с—у), а потом при условно-постоянном давлении (линия у—г). В точке 2 давление в цилиндре p_g достигает 8—11 МПа, температура конца сгорания $T_g = 1800-2100$ К.

Отношение максимального давления сгорания p_g к давлению конца сжатия p_c определяет степень повышения давления Я.

Расширение газов г—5 происходит также по политропическому процессу. Топливо, не успевшее сгореть в период с—у—г, продолжает догорать на участке процесса расширения г—4. Отношение объема газа U_g в конце процесса горения к объему камеры сжатия U_c называется степенью предварительного расширения r . Отношение полного объема цилиндра U_a к объему цилиндра в конце горения U_g называется степенью последующего расширения β .

Выпуск отработавших газов 5—/. 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. 4.6, а, линия г—б—а).

В двухтактном дизеле после открытия выпускных окон (точка 5, см. рис. 4.6, б) давление в цилиндре падает. Подача воздуха через продувочные окна (точка б) 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 окон (точка /).

Рабочие циклы дизелей

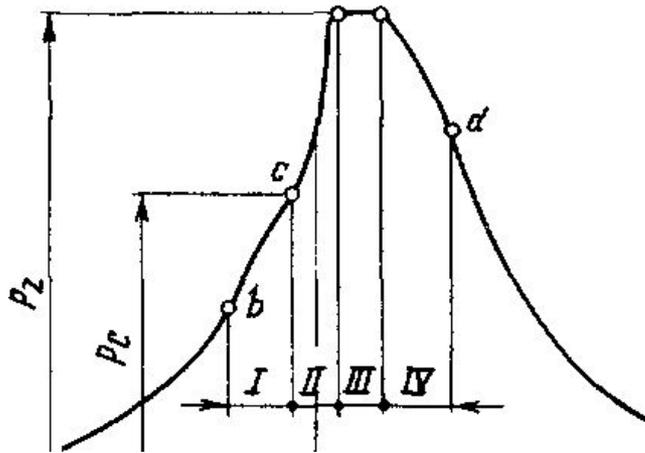


Рис.

Развернутая индикаторная диаграмма процесса горения топлива — давление в цилиндре в зависимости от угла (φ поворота коленчатого вала от в. м. т.

Процесс сгорания происходит на небольшом участке хода поршня у в.м.т., когда поршень имеет небольшую скорость движения. Поэтому процесс сгорания нагляднее можно изобразить на развернутой диаграмме, построенной по углу поворота коленчатого вала φ (рис.). Такая диаграмма позволяет судить о времени протекания горения, так как коленчатый вал вращается равномерно. Условно процесс горения можно разделить на четыре фазы.

Фаза I — период задержки воспламенения (участок б—с) составляет всего 0,001—0,005 с и соответствует 10—16° п.к.в. Чем больше период задержки воспламенения, тем больше топлива поступит в цилиндр до появления первых очагов воспламенения.

Фаза II — период воспламенения и сгорания топлива, впрыснутого за I и частично II фазы (участок с—у). В начале горения в камере сжатия много свободного кислорода, отчего пламя быстро распространяется по всему объему камеры сжатия, происходит интенсивное выделение теплоты и давление газов резко повышается при почти постоянном объеме. Отношение приращения давления от начала сгорания (точка с) до в.м.т. к углу поворота коленчатого вала за это время называется жесткостью работы двигателя. Жесткость повышается при увеличении периода задержки воспламенения топлива. Она не должна быть больше 0,2—0,3 МПа на Г п.к.в.

Фаза III — продолжение горения (участок у—2). Сгорает топливо, поданное во II фазе и частично в III фазе. Капли топлива находятся в среде, насыщенной продуктами сгорания, поэтому интенсивность сгорания несколько уменьшается.

Фаза IV — догорание топлива на линии расширения (участок г—а"). Период догорания наблюдается у многих двигателей, причем у быстроходных он длиннее, чем у тихоходных. При уменьшении нагрузки двигателя период догорания уменьшается. Догорание топлива вызывает повышение температуры отработавших газов.

Рабочие циклы дизелей

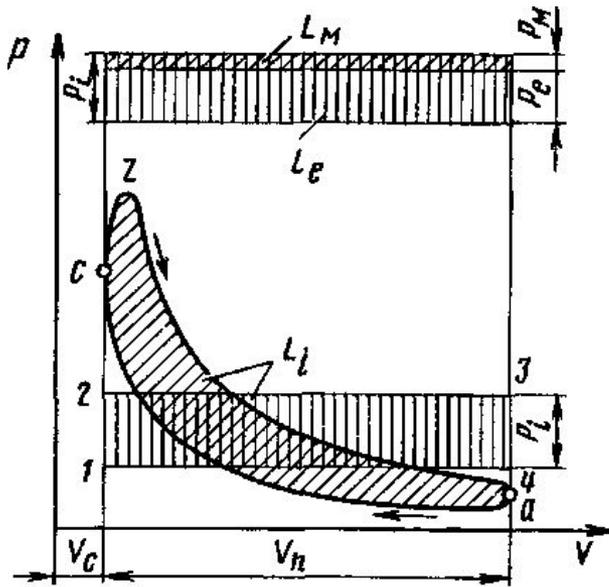


Рис.
Определение характеристик
цикла по индикаторной
диаграмме

За один цикл в цилиндре совершается полезная работа, соответствующая на индикаторной диаграмме (рис.) площади, ограниченной линиями сжатия, сгорания и расширения. Площадь же, ограниченная линиями впуска и выпуска, обычно из-за ее малой величины не учитывается. Площадь индикаторной диаграммы можно заменить равновеликим по площади прямоугольником 1—2—3—4 с тем же основанием. Тогда высота этого прямоугольника будет условным, постоянным в течение хода давлением. Его так и называют средним индикаторным давлением.

Среднее индикаторное давление p — это такое условное постоянное давление, которое, действуя на протяжении одного хода поршня, совершает работу, равную индикаторной работе за весь цикл.

Рабочие циклы дизелей

В двухтактном двигателе по сравнению с четырехтактным при одинаковых размерах цилиндров и равной скорости вращения за одно и то же время происходит вдвое больше рабочих циклов и теоретически может быть получена вдвое большая мощность. В действительности же из-за недоиспользования части хода поршня, занятой окнами, затрат мощности на продувку и несовершенство очистки цилиндра от газов мощность двухтактного цикла при одинаковых параметрах процесса превышает мощность четырехтактного не в 2, а примерно в 1,5—1,7 раза.

Наряду с повышенной мощностью двухтактные двигатели имеют большую равномерность вращения коленчатого вала и более простой газораспределительный механизм. Благодаря указанным преимуществам на тепловозах широко применяют двухтактные двигатели. Однако форсирование мощности при ограниченных габаритах легче осуществить в четырехтактном цикле из-за возможности использовать простую схему турбонаддува и меньшей теплонапряженности дизеля. У четырехтактных дизелей с наддувом удалось получить лучшие параметры теплового процесса и больший к.п.д., а значит, и меньший расход топлива, чем у двухтактных.

По этим причинам на современных и перспективных мощных тепловозах предусматривается использование четырехтактных дизелей.

Индикаторный, механический и эффективный к.п.д. Отношение количества теплоты, преобразованного в работу газов в цилиндре двигателя, к количеству теплоты, введенному в двигатель с топливом, называется индикаторным к.п.д. двигателя.

Технические требования, основные характеристики и мощностные ряды дизелей

Экономичность работы тепловоза определяется его основной силовой установкой – дизелем. Дизель тепловоза должен обладать высокой экономичностью, надежностью и высокой степенью автоматизации его работы. Эти основные требования к конструкции дизеля направлены на экономию затрат на топливо, техническое обслуживание, ремонт и прочие расходы в процессе его эксплуатации.

Экономичность дизеля — это его способность работать с малыми удельными расходами топлива и масла в широком диапазоне эксплуатационных нагрузок от холостого хода до номинальной мощности. Современные дизели имеют удельный расход топлива ξ_e на номинальной мощности 200-220 г/кВт-ч.

Степень надежности дизеля определяется его способностью длительно работать без отказов на всех эксплуатационных режимах при следующих условиях окружающей среды: температура воздуха, окружающего дизель от 5 до 50 °С, температура наружного воздуха от —40 до +40 °С, высота над уровнем моря до 2000 м. К показателям надежности относятся моторесурс дизеля и его основных узлов и деталей, а также число отказов на 1 млн км пробега. Установленным (назначенным) заводами-изготовителями ресурсам должна соответствовать периодичность технического обслуживания и ремонта тепловозов.

Технические требования, основные характеристики и мощностные ряды дизелей

Тепловозные дизели должны обладать контроле- и ремонтпригодностью. Вместе с надежностью эти два качества определяют расходы на техническое обслуживание и ремонт дизелей в эксплуатации. Контролепригодность дизеля — свойство, заключающееся в его приспособленности к контролю работоспособности, к поиску неисправностей и прогнозированию технического состояния. Ремонтпригодность дизеля — свойство, заключающееся в его приспособленности к быстрой и удобной разборке и сборке всех ответственных узлов и деталей, а также к ремонту этих узлов и деталей.

Специальные требования к тепловозному дизелю определяются спецификой конструкции тепловозов, огра-

ничейной габаритами подвижного состава, нагрузками на ось и особенностями условий их работы. К ним относятся небольшие габаритные размеры и масса как самого дизеля, так и вспомогательного оборудования, установленного вне дизеля, необходимого для его работы. Для тепловозов мощностью более 2500 кВт приемлемые габаритные размеры и удельные массы на уровне 5— 8 кг/кВт достигаются при У-образной конструкции дизеля с диаметром цилиндра примерно 250—

300 мм. Одно из важных эксплуатационных требований к дизелю — безотказный пуск как горячего, так и холодного двигателя при наименьшей затрате энергии от постороннего источника (аккумуляторная батарея, сжатый воздух) при температуре воды, масла и топлива не более 8 °С. Как исключение, допускается обеспечение пуска при температуре выше 8 °С, но не более 15 °С.

Рабочий цикл четырехтактного дизеля

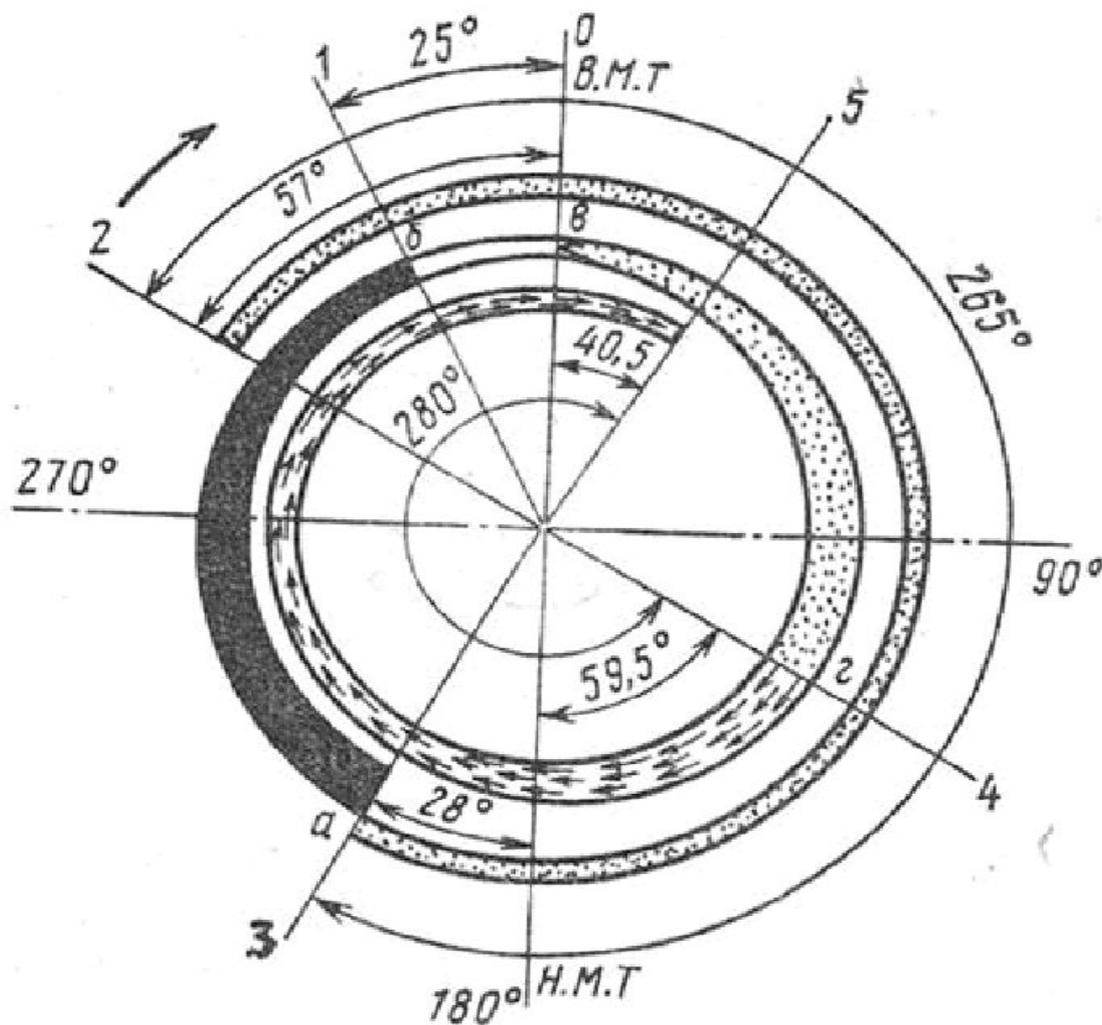


Диаграмма рабочего цикла дизеля 2А-5Д49:

- 1 — начало подачи топлива;
- 2 — начало открытия впускных клапанов;
- 3 — закрытие впускных клапанов;
- 4 — начало открытия выпускных клапанов;
- 5 — закрытие выпускных клапанов;
- а—б — сжатие; в -г - расширение

Рабочий цикл четырехтактного дизеля

Впускные клапаны начинают открываться за 57° до в. м. т., а закрываются через 28° после н. м. т., т. е. они открыты в течение 265° . В этот период происходит наполнение цилиндра свежим воздушным зарядом. Выпускные клапаны открываются за $59,5^\circ$ до н. м. т. и закрываются через $40,5^\circ$ после в. м. т., т. е. они открыты в течение 280° . Опережение открытия и запаздывание закрытия клапанов позволяют улучшить очистку цилиндра от отработавших газов и заполнение его свежим воздухом. Сжатие воздуха, поступившего в цилиндр, начинается после закрытия впускных клапанов и продолжается до момента достижения поршнем верхнего крайнего положения (в. м. т.). Несколько ранее конца процесса сжатия при повороте коленчатого вала за 25° до в. м. т. начинается впрыскивание топлива в цилиндр, которое воспламеняется и горит, в это время рабочему телу (смеси продуктов сгорания и воздуха) сообщается тепловая энергия. Продолжительность впрыскивания и горения топлива зависит от режима работы дизеля — чем больше нагрузка, тем больше длится впрыскивание и горение топлива. После того как поршень пройдет в. м. т., начинается расширение рабочего тела (рабочий ход). Расширение продолжается до начала открытия выпускных клапанов. В конце расширения после открытия выпускных клапанов начинается выпуск отработавших газов из цилиндра, который продолжается затем в течение всего хода поршня вверх до в. м. т. и далее до момента закрытия выпускных клапанов. Из цилиндра по выпускному трубопроводу (коллектору) отработавшие газы направляются к газовой турбине турбокомпрессора. Из диаграммы видно, что в течение примерно 98° поворота коленчатого вала впускные и выпускные клапаны открыты одновременно. В это время происходит «продувка» пространства над поршнем для лучшей очистки от продуктов сгорания. Затем снова происходит наполнение цилиндра воздухом, сжатие его и т. д. — цикл повторяется снова

Понятие мощности дизеля

Рассматривая многоцилиндровые двигатели, предполагают, что рабочие процессы в цилиндрах протекают примерно одинаково и только смещены по фазам на угол сдвига кривошипов коленчатого вала. Поэтому можно считать, что мощность, развиваемая в отдельных цилиндрах, тоже одинакова; тогда мощность дизеля в целом равна сумме мощностей всех цилиндров. Различают индикаторную мощность N_i , получаемую в цилиндрах дизеля, и эффективную мощность N_e , реализуемую на коленчатом валу дизеля. В технической документации, которая составляется на каждый двигатель заводом-изготовителем, указывается номинальная мощность дизеля $N_{ен}$.

Номинальная мощность — это эффективная мощность, развиваемая двигателем при нормальных условиях, т. е. при давлении воздуха 760 мм рт. ст., температуре наружного воздуха $+ 20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 70%. При повышении температуры и уменьшении давления воздуха мощность дизеля падает, а при понижении температуры и повышении давления мощность возрастает. С увеличением влажности воздуха мощность дизеля снижается. Изменение внешних условий (температуры и давления воздуха) может вызвать изменение мощности дизеля примерно до 8—10%. Поэтому мощность N_e и удельный расход топлива g_e , полученные при данных атмосферных условиях, пересчитывают и приводят к нормальным условиям.

КПД дизеля

Механический к.п.д. дизеля, определяемый как отношение эффективной мощности к индикаторной, характеризует механические и гидравлические потери в трущихся частях двигателя, а также затрату мощности на привод вспомогательных механизмов дизеля (топливные, водяные, масляные насосы, механизм газораспределения и др.); он зависит от конструкции и качества сборки машины и при номинальной мощности принимает значения от 0,78 до 0,9.

Если двигатель приводит во вращение электрический генератор постоянного тока, то эффективную мощность можно подсчитать по показаниям электрических приборов, подключенных к выводам генератора.

Степень совершенства использования тепла в цилиндрах двигателя характеризуется индикаторным коэффициентом полезного действия. Индикаторный к.п.д. определяется как отношение механической энергии, выработанной в цилиндрах дизеля, к теплу, внесенному в дизель с топливом за определенное время (например, за 1 ч).

Наиболее полно экономичность теплового двигателя определяется эффективным коэффициентом полезного действия. Эффективным к.п.д. дизеля называется отношение выработанной им и подведенной к коленчатому валу механической энергии к количеству тепла, введенному в дизель с топливом за то же время.

Спасибо за внимание!

