

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра тракторов, автомобилей и машин для природообустройства

А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, А. А. Рудашко

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Методические указания к лабораторной работе
для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 06 01
Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного
производства, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных
и водохозяйственных работ*

Горки
БГСХА
2018

УДК 621.4:629.114.2

*Рекомендовано методической комиссией
факультета механизации сельского хозяйства.
Протокол № 2 от 23 октября 2017 г.*

Авторы:

доктор технических наук, профессор *А. Н. Карташевич*;
кандидаты технических наук, доценты
А. В. Гордеенко, А. А. Рудашко

Рецензент:

доктор технических наук, профессор *А. В. Клочков*

Тракторы и автомобили. Классификация и принцип работы двигателей : методические указания к лабораторной работе / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, А. А. Рудашко. – Горки : БГСХА, 2018. – 24 с.

Изложены классификация автотракторных двигателей, даны основные понятия и определения, приведены основные механизмы и системы, изложен принцип работы четырехтактных и двухтактных двигателей, приведены основные показатели работы.

Для студентов специальностей 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ.

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2018

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАКТОРНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Современные двигатели внутреннего сгорания можно классифицировать по следующим основным признакам.

1. По способу воспламенения смеси:

- с самовоспламенением от сжатия (дизели);
- с принудительным искровым зажиганием (ИЗ) (бензиновые и газовые);
- с комбинированным воспламенением (например, газодизели, у которых горючая смесь поджигается за счет самовоспламенения небольшого количества 10...15 % жидкого распыленного запального топлива);
- с форкамерно-факельным зажиганием, когда смесь в специальной дополнительной камере сгорания воспламеняется искрой, а в основной камере – от пламени из дополнительной камеры.

2. По способу смесеобразования:

- двигатели с внутренним смесеобразованием, в которых горючая смесь образуется внутри цилиндра в процессе сжатия после подачи в него топлива (дизели; двигатели с искровым зажиганием и впрыском топлива в цилиндр; газовые с подачей газа в цилиндр);
- с внешним смесеобразованием, рабочая смесь образуется вне цилиндра двигателя (бензиновые карбюраторные и газовые – топливовоздушная смесь приготавливается в карбюраторе или смесителе, а также двигатели с искровым зажиганием и впрыском топлива во впускной трубопровод);
- с расслоением заряда, при котором в различных зонах камеры сгорания образуется рабочая смесь разного состава.

3. По роду применяемого топлива:

- двигатели, работающие на жидком топливе (бензин, керосин, дизельное топливо, спирты, биотопливо);
- двигатели, работающие на газообразном топливе (сжиженный, сжатый, генераторный и биогаз);
- многотопливные двигатели, приспособленные для работы на широком ассортименте топлив;
- двигатели, работающие на водородном топливе.

4. По способу регулирования мощности:

- двигатели с количественным регулированием, в которых мощность регулируется изменением количества подаваемой в цилиндры топливовоздушной смеси (двигатели с искровым зажиганием);

- двигатели с качественным регулированием, в которых для изменения мощности при почти постоянном количестве воздушного заряда изменяется количество впрыснутого топлива (дизели);

- двигатели со смешанным регулированием – изменяется количество и состав смеси.

5. По способу организации рабочего цикла:

- четырехтактные двигатели, у которых рабочий цикл осуществляется в цилиндре за четыре хода поршня, т.е. за два оборота коленчатого вала;

- двухтактные двигатели, у которых рабочий цикл совершается в цилиндре за два хода поршня, т.е. за один оборот коленчатого вала.

6. По способу действия:

- простого действия, у которых рабочий цикл осуществляется только в одной верхней полости цилиндра;

- двойного действия, у которых рабочий цикл совершается в двух плоскостях цилиндра – в верхней и нижней;

- с противоположно движущимися поршнями, которые являются по существу двумя двухтактными двигателями простого действия с общей камерой сгорания.

7. По способу наполнения цилиндра свежим зарядом:

- без наддува, у которых наполнение цилиндра обеспечивается перемещением поршня;

- с наддувом, у которых рабочая смесь (или воздух) полностью или частично подается в цилиндр под давлением, превышающим давление окружающей среды (свежий заряд перед поступлением в цилиндр предварительно сжимается в специальном компрессоре-нагнетателе).

8. По конфигурации камер сгорания (КС):

- с неразделенными однополостными КС;

- с полуразделенными КС;

- с разделенными КС.

9. По типу кривошипно-шатунного механизма:

- нереверсивные, имеющие одно постоянное направление вращения;

- реверсивные, у которых перемена направления вращения осуществляется реверсивным механизмом;

- тронковые, у которых в качестве направляющей используется тронковая часть поршня;

- крейцкопфные, у которых в качестве направляющей поршня служит ползун.

10. По способу охлаждения:

- жидкостного охлаждения;
- воздушного охлаждения.

11. По степени быстроходности:

- тихоходные (со средней скоростью поршня до 10 м/с);
- быстроходные (со средней скоростью поршня выше 10 м/с).

12. По расположению цилиндров:

- рядное;
- V-образное;
- оппозитное.

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДВИГАТЕЛЯМ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

Основные эксплуатационные требования сводятся к обеспечению максимальной производительности трактора и автомобиля при минимальной стоимости выполняемых ими работ и обеспечении условий экологичности, надежности и безопасности. Эти общие требования достигаются следующим:

1) развитием двигателей необходимой мощности при различных скоростных и нагрузочных режимах автомобиля или трактора, возможностью повышения мощности без серьезных конструктивных изменений, обладанием хорошей приемистостью при трогании с места или изменении режима работы;

2) обеспечением требуемых экологических показателей;

3) уменьшением габаритных размеров двигателя и снижением его доли по габаритам и массе в конечном изделии;

4) максимально возможной экономичностью работы двигателя на всех режимах работы по топливу и маслу (снижение расхода масла на угар);

5) упрощением конструкции двигателя, что благоприятно сказывается на условиях выпуска, последующих технических обслуживаниях и ремонтах в условиях эксплуатации;

6) снижением производственной стоимости двигателя, которая достигается за счет обеспечения высокой технологичности изготовления деталей и применением полноценных заменителей металла;

7) обеспечением высокой надежности и долговечности в условиях эксплуатации;

8) максимальным целесообразным уравниванием двигателя и обеспечением необходимой неравномерности крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала.

9) удобство технического обслуживания. Двигатель – это один из механических агрегатов трактора, поэтому необходимо обеспечить удобный доступ ко всем его узлам и деталям, требующим регулярного технического обслуживания.

3. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

В состав современного тракторного дизеля (рис. 1) входят два основных механизма – кривошипно-шатунный и газораспределительный и системы охлаждения, смазки, питания и пуска.

Кривошипно-шатунный механизм. Основное назначение кривошипно-шатунного механизма состоит в том, что он воспринимает силу давления газов, образующихся в результате сгорания топливной смеси и преобразует прямолинейное, возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала.

Он состоит из неподвижных (блок цилиндров, головка блока цилиндров, крышки распределительных шестерен, картер маховика) и подвижных (маховик, коленчатый вал, шатунно-поршневая группа) элементов.

Газораспределительный механизм обеспечивает впуск в цилиндры воздуха и выпуск отработавших газов в определенные моменты относительно ВМТ и НМТ при перемещении поршня в соответствии с происходящими процессами в цилиндрах двигателя. Основные элементы: распределительный вал, механизм привода клапанов, клапаны. Дизельные двигатели в основном имеют один распределительный вал и два клапана на цилиндр: один впускной и один выпускной. Распределительный вал приводится во вращение от коленчатого вала двигателя в большинстве случаев с помощью зубчатого ремня (реже используется цепной привод).

Система охлаждения обеспечивает регулируемый отвод тепла от нагревающихся элементов двигателя. На дизельных двигателях используется преимущественно жидкостная система с принудительным охлаждением. Основные элементы: водяной насос, радиатор, термостат, вентилятор.

Система смазки обеспечивает подачу масла к трущимся поверхностям двигателя для уменьшения трения. Кроме того, масло уносит твердые частицы, образующиеся за счет трения в процессе износа элементов, и обеспечивает дополнительное охлаждение элементов двигателя. Основные элементы системы: маслоприемник с сетчатым филь-

тром, масляный насос, масляный фильтр, масляный радиатор. Система обеспечивает смазку элементов под давлением и разбрызгиванием.

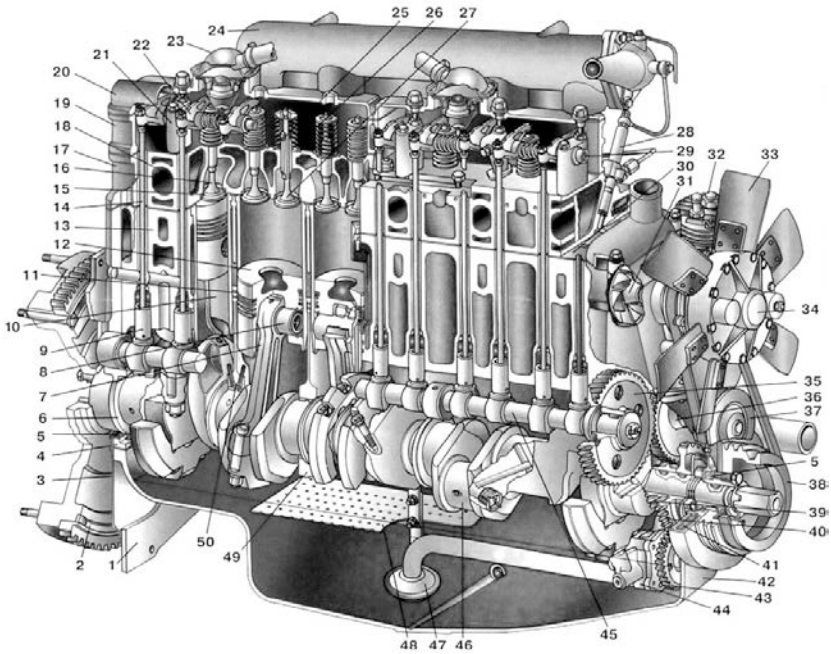


Рис. 1 Дизельный двигатель Д-260:

- 1 – задний лист; 2 – маховик; 3 – крышка; 4 – опора масляного картера; 5 – манжета уплотнительная; 6 – маслоотражатель; 7 – шатун; 8 – палец поршневой; 9 – толкатель; 10 – гильза цилиндров; 11 – кольца уплотнительные гильзы цилиндров; 12 – поршень; 13 – блок цилиндров; 14 – штанга толкателя; 15 – седло клапана; 16 – клапан впускной; 17 – головка цилиндров; 18 – канал выпускной; 19 – крышка головки цилиндров; 20 – колпак крышки головки цилиндров; 21 – стойка оси коромысел крайняя; 22 – коромысло; 23 – сапун; 24 – коллектор всасывающий; 25 – манжета уплотнительная; 26 – втулка направляющая клапана; 27 – клапан выпускной; 28 – форсунка; 29 – ось коромысел; 30 – прокладка головки цилиндров; 31 – крыльчатка водяного насоса; 32 – компрессор; 33 – вентилятор; 34 – муфта вязкого трения; 35 – шестерня распределительного вала; 36 – шестерня промежуточная распределительная; 37 – шкив натяжной; 38 – шкив коленчатого вала; 39 – шестерня привода распределения коленчатого вала; 40 – шестерня ведущая привода масляного насоса; 41 – демпфер силиконовый; 42 – картер масляный; 43 – шестерня ведомая привода масляного насоса; 44 – насос масляный; 45 – вал распределительный; 46 – вал коленчатый; 47 – маслоприемник; 48 – успокоитель масла; 49 – крышка коренного подшипника коленчатого вала; 50 – форсунки охлаждения поршней

Система питания представляет совокупность сборочных единиц и устройств, предназначенных для очистки воздуха и топлива, подачи воздуха и определенной порции распыленного топлива под высоким давлением в цилиндры. К этой же системе условно относят и сборочные единицы для отвода отработавших газов в атмосферу.

В системе питания дизелей воздухом можно выделить следующие основные элементы: воздухоочиститель, турбокомпрессор, впускные и выпускные трубопроводы, глушитель.

Система питания топливом обеспечивает впрыск топлива под высоким давлением в цилиндры двигателя в конце такта сжатия с временной синхронизацией момента начала подачи топлива относительно ВМТ поршня в соответствии с режимом работы двигателя. Основные элементы системы: топливный насос высокого давления, подкачивающий топливный насос с топливным фильтром, топливозаборник с сетчатым фильтром грубой очистки топлива. Топливный насос высокого давления приводится в действие непосредственно от коленчатого вала двигателя или от распределительного вала с помощью зубчатого ремня привода.

Система пуска – это комплекс взаимодействующих механизмов и систем, обеспечивающих начало устойчивого протекания рабочего цикла в цилиндрах двигателя.

4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ О РАБОТЕ ДВИГАТЕЛЯ

В процессе работы двигателя поршни в его цилиндрах перемещаются вверх и вниз, при этом за каждый полный оборот коленчатого вала двигателя они совершают по одному ходу вверх и вниз.

Мертвыми точками называются крайние положения поршня, в которых он меняет направление движения на обратное. Крайнее верхнее положение поршня в цилиндре (рис. 2) называется верхней мертвой точкой (ВМТ).

Крайнее нижнее положение поршня в цилиндре называется нижней мертвой точкой (НМТ).

Периодически повторяющиеся в определенной последовательности процессы, происходящие в каждом цилиндре и вызывающие превращение тепловой энергии в механическую работу двигателя, называются **рабочим циклом двигателя**.

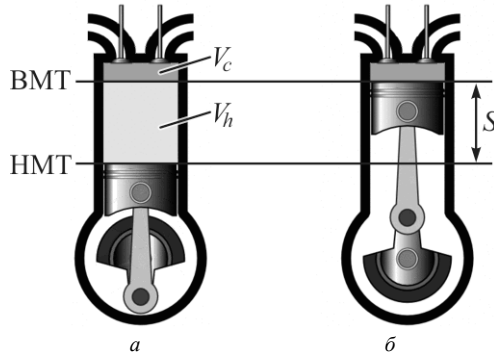


Рис. 2. Ход поршня и объемы цилиндра двигателя: *a* – поршень в НМТ; *б* – поршень в ВМТ

Такт – часть рабочего цикла, происходящая за время движения поршня от одной мертвой точки к другой, т.е. за один ход поршня.

Расстояние S между мертвыми точками называется ходом поршня. Ход поршня равняется двум радиусам кривошипа ($S = 2r$). За один ход поршня (например, от ВМТ к НМТ) коленчатый вал поворачивается на пол-оборота (180°).

Объем полости над поршнем, находящимся в ВМТ, называется объемом камеры сгорания V_c .

Пространство цилиндра между двумя мертвыми точками (НМТ и ВМТ) называют **рабочим объемом цилиндра** и обозначают V_h , равное:

$$V_h = \frac{\pi D^2 S}{4},$$

где D – диаметр поршня.

Сумма объема камеры сгорания V_c и рабочего объема V_h цилиндра представляет собой **полный объем цилиндра** V_a , равный:

$$V_a = V_c + V_h.$$

Рабочий объем всех цилиндров, выраженный в литрах, называется **литражом двигателя**:

$$V_n = V_h i = \frac{\pi D^2 S i}{4},$$

где i – число цилиндров.

Литраж двигателя – это сумма рабочих объемов всех цилиндров, измеряемый в литрах. Соответственно, чем больше литраж – тем более

мощным будет двигатель. Измеряется мощность в киловаттах или в лошадиных силах (кВт или л.с.).

Степень сжатия – отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_h}{V_c}.$$

Она показывает, во сколько раз уменьшается объем рабочей смеси или воздуха, поступивших в цилиндр, при перемещении поршня от НМТ к ВМТ. Чем выше степень сжатия, тем больше давление и температура рабочей смеси в конце сжатия.

С увеличением степени сжатия повышается мощность и топливная экономичность двигателя. Однако повышение степени в дизелях возможно лишь до определенных пределов. Жидкие и газообразные топлива различных видов имеют разные температуры самовоспламенения, поэтому вид топлива, на котором работает двигатель, и его пусковые свойства определяют пределы степени сжатия. Двигатели, работающие на бензине с воспламенением от искры, имеют степень сжатия в пределах 6...9, на газе – 8...10, дизели – 16...20.

5. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

5.1. Принцип работы четырехтактного дизеля

Рабочий цикл четырёхтактного дизеля состоит в том, что в его цилиндры при такте впуска поступает воздух, который из-за большой степени сжатия нагревается до высокой температуры, а затем в него впрыскивается мелкораспыленное топливо, которое под действием высокой температуры воздуха самовоспламеняется.

Впуск (первый такт, рис. 3, а). Поршень перемещается вниз и, действуя подобно насосу, создает разрежение в цилиндре. Через открытый впускной клапан в цилиндр поступает чистый воздух под влиянием разности давлений. Выпускной клапан закрыт. В конце такта закрывается и впускной клапан.

Сжатие (второй такт, рис. 3, б). Поршень, продолжая движение, перемещается вверх. Поскольку оба клапана закрыты, поршень сжимает воздух. Температура воздуха при сжатии растет. Благодаря высокой степени сжатия давление в цилиндре повышается до 4 МПа, а воздух нагревается до температуры 600 °С. В конце такта сжатия через фор-

сунку в цилиндр впрыскивается порция дизельного топлива в мелко-распыленном состоянии.

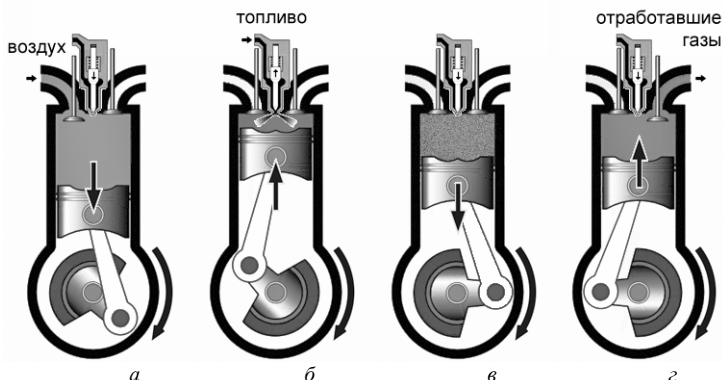


Рис. 3. Схема работы четырехтактного одноцилиндрового дизеля:
а – впуск; б – сжатие; в – рабочий ход; г – выпуск

Рабочий ход или расширение (третий такт, рис. 3, в). Мелкие части топлива, соприкасаясь с нагретым сжатым воздухом, самовоспламеняются. Впрыскивание топлива через форсунку и его горение продолжаются некоторое время после того, как поршень пройдет ВМТ. Благодаря задержке самовоспламенения топливо в основном сгорает во время этого такта. Оба клапана при рабочем ходе закрыты. Температура газов при сгорании достигает $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление повышается до 8 МПа . Под большим давлением расширяющихся газов поршень перемещается вниз и передает воспринимаемое им усилие через шатун на коленчатый вал, заставляя его вращаться.

Выпуск (четвертый такт, рис. 3, г). Поршень перемещается вверх, а выпускной клапан открывается. Отработавшие газы сначала под действием избыточного давления, а затем поршня удаляются из цилиндра. После прохода поршнем ВМТ выпускной клапан закрывается, а впускной открывается.

По окончании выпуска рабочие процессы в цилиндре повторяются в той же последовательности.

В одноцилиндровом четырехтактном двигателе за цикл работы совершается только один рабочий такт, а остальные три такта являются вспомогательными, на них затрачивается часть работы, произведенной газами во время расширения.

Одноцилиндровые четырехтактные двигатели имеют следующие основные недостатки:

1) неравномерность вращения коленчатого вала (пол-оборота вал вращается с ускорением, а полтора оборота – с замедлением);

2) не уравновешены силы инерции частей (поршень, палец и др.), движущихся возвратно-поступательно;

3) неблагоприятные условия приготовления горючей смеси (движение ее во впускном трубопроводе прекращается на период трех полуоборотов, вследствие чего может быть конденсация паров топлива);

4) двигатели увеличенной мощности слишком громоздки и тяжелы;

5) не обладают приемистостью, т. е. способностью быстро увеличивать частоту вращения коленчатого вала (малое количество рабочих ходов и большая инерция массивных деталей – поршень, маховик).

5.2. Принцип работы четырехтактного двигателя с искровым зажиганием

В двигателе с искровым зажиганием горючая смесь воздуха с топливом воспламеняется от искровой свечи зажигания, установленной в головке цилиндра.

Рабочий цикл четырехтактного двигателя с искровым зажиганием протекает следующим образом.

Впуск (рис. 4, *а*). Поршень перемещается вниз. Впускной клапан открыт. Вследствие разрежения внутрь цилиндра через впускной канал поступает горючая смесь, которая перемешивается с остаточными газами, в результате чего образуется рабочая смесь.

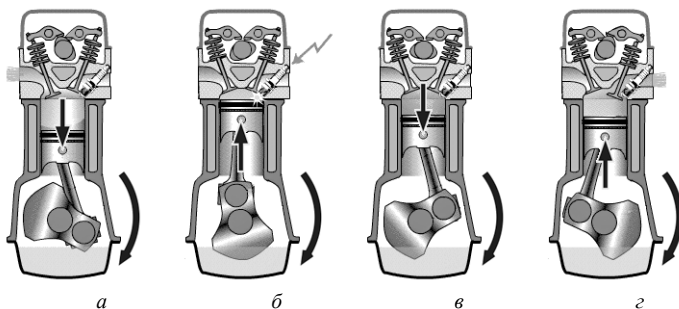


Рис. 4. Схема работы четырехтактного одноцилиндрового двигателя с искровым зажиганием: *а* – впуск; *б* – сжатие; *в* – рабочий ход; *г* – выпуск

Сжатие (рис. 4, б). Поршень движется вверх. Впускной и выпускной клапаны закрыты.

Объем над поршнем уменьшается, и рабочая смесь сжимается, благодаря чему улучшаются испарение и перемешивание паров бензина с воздухом. К концу такта давление достигает 1,0...1,2 МПа, а температура – 350...400 °С.

Рабочий ход или сгорание и расширение (рис. 4, в). Оба клапана закрыты. В конце такта сжатия рабочая смесь воспламеняется от искры.

Поршень под действием давления расширяющихся газов перемещается от ВМТ к НМТ. Давление газов достигает 2,5...4,0 МПа, а температура доходит до 2300 °С.

Выпуск (рис. 4, г). Поршень движется вверх. Открыт выпускной клапан. Отработавшие газы выходят через выпускной канал наружу.

К основным преимуществам четырёхтактных двигателей относят:

- большой моторесурс;
- большая экономичность;
- более чистый выхлоп отработавших газов;
- не требуется сложная выхлопная система;
- меньший шум;
- не нужно предварительно смешивать масло с бензином.

5.3. Рабочий процесс двухтактного двигателя с искровым зажиганием

В двухтактных двигателях все рабочие циклы (процессы впуска топливной смеси, выпуска отработанных газов, продувки) происходят в течение одного оборота коленчатого вала за два основных такта. У двигателей такого типа отсутствуют клапаны (как у четырёхтактных ДВС), их роль выполняет поршень, который при своем перемещении закрывает впускные, выпускные и продувочные окна. Поэтому они более просты в конструкции.

Такт сжатия. Поршень перемещается от НМТ к ВМТ (рис. 5, а), при этом перекрывая сначала продувочное 3, а затем выпускное 2 окна. После закрытия поршнем выпускного окна в цилиндре начинается сжатие ранее поступившей в него горючей смеси. Одновременно, движущийся вверх поршень после перекрытия продувочного окна 3 (рис. 5, б) создаёт разрежение в кривошипной камере 1. Под действием этого разрежения открывается клапан впускного коллектора 4, и све-

жая порция топливоздушной смеси засасывается в кривошипную камеру.

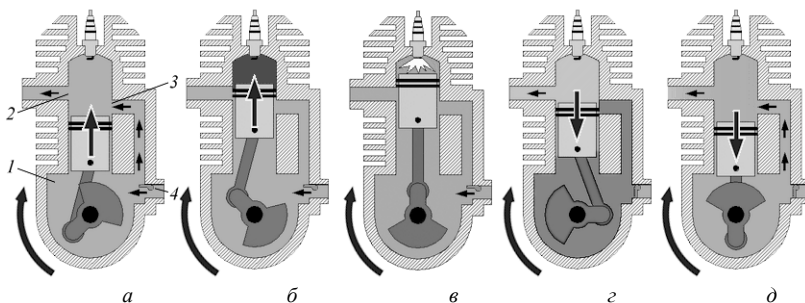


Рис. 5. Схема работы двухтактного двигателя: 1 – кривошипная камера; 2 – выпускное окно; 3 – продувочное окно; 4 – клапан впускного коллектора

Такт рабочего хода. При положении поршня около ВМТ сжатая рабочая смесь воспламеняется электрической искрой от свечи (рис. 5, в), в результате чего температура и давление газов резко возрастают.

Под действием теплового расширения газов поршень перемещается к НМТ, при этом расширяющиеся газы совершают полезную работу. Одновременно, опускаясь вниз, поршень создает высокое давление в кривошипной камере (сжимая в ней топливоздушную смесь). Под действием давления клапан закрывается, не давая, таким образом, горючей смеси снова попасть во впускной коллектор и затем в карбюратор.

Когда поршень дойдет до выпускного окна (рис. 5, г), оно открывается и начнется выпуск отработавших газов в атмосферу, давление в цилиндре понижается.

При дальнейшем перемещении поршень открывает продувочное окно (рис. 5, д) и сжатая в кривошипной камере горючая смесь поступает по каналу, заполняя цилиндр. Затем, после открытия клапана, происходит продувка цилиндра от остаточных газов и одновременно осуществляется наполнение его свежей горючей смесью, начиная новый рабочий цикл (рис. 5, а). При этом горючая смесь частично выходит вместе с отработавшими газами, что ухудшает топливную экономичность. Таким образом, за два хода поршня (два такта) совершается полный рабочий цикл.

К основным преимуществам двухтактных двигателей относят:

- отсутствие громоздких систем смазки и газораспределения у бензиновых вариантов;
- большая мощность в пересчёте на 1 литр рабочего объёма;
- проще и дешевле в изготовлении.

5.4. Особенности рабочего процесса дизеля с турбокомпрессором

В бескомпрессорных дизельных двигателях цилиндры заполняются воздухом всего на 70...80 %. Это объясняется следующими причинами:

- до начала заполнения цилиндра часть его объема занимают оставшиеся продукты сгорания;
- всасываемый в цилиндр воздух нагревается, что обуславливает уменьшение его плотности;
- впускная система обладает значительным сопротивлением, зависящим от конструкции и технического состояния механизма газораспределения, воздухоочистителя и впускного коллектора.

Смысл наддува двигателя внутреннего сгорания – улучшить наполнение цилиндров двигателя топливно-воздушной смесью для повышения среднего эффективного давления цикла и, как следствие, мощности двигателя путем принудительного увеличения заряда воздуха, поступающего в цилиндры.

При турбонаддуве в качестве привода используется отработавший газ, который в обычном случае выбрасывается в атмосферу, без утилизации его энергии на совершение полезной работы. При работе двигателя с турбонаддувом отработавшие газы подаются в турбину (рис. 6), где отдают часть своей энергии, раскручивая ротор турбокомпрессора, и затем поступают через приемную трубу в глушитель.

На одном валу с лопаточным колесом турбины находится колесо компрессора, который засасывает воздух из воздушного фильтра, повышает его давление на 30...80 % (в зависимости от степени наддува) и подает в двигатель. В один и тот же объем (литраж) двигателя поступает большее по массе количество воздуха, что позволяет сжигать больше топлива и получить в результате большую (на 40 % и более) мощность двигателя, а за счет использования энергии отработавших газов повышается КПД двигателя и снижается удельный расход топлива на 5...20 %.

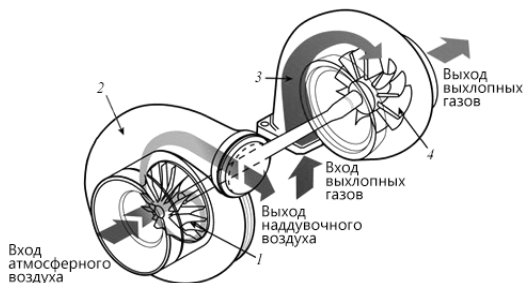


Рис. 6. Схема работы турбокомпрессора ДВС:
 1 – рабочее колесо компрессора; 2 – корпус компрессора; 3 – корпус турбины; 4 – турбинное колесо

5.5. Многоцилиндровые двигатели

Детали одноцилиндрового двигателя работают под большими нагрузками, вызываемыми давлением газов в цилиндре, инерционными и центробежными силами, возникающими при движении деталей. В связи с тем, что величина давления газов значительно меняется даже в течение одного хода поршня, на детали двигателя действуют переменные нагрузки, что является основной причиной неравномерности работы одноцилиндровых двигателей, т. е. коленчатый вал одноцилиндрового двигателя вращается неравномерно: при рабочем ходе – ускоренно, а при вспомогательных тактах – замедленно. Кроме того, одноцилиндровый двигатель обычно имеет небольшую мощность и повышенную вибрацию. Для достижения равномерности работы двигателя или устанавливают на коленчатом валу тяжелый маховик, или используют многоцилиндровый двигатель.

Маховик накапливает энергию во время рабочего хода и отдает ее при совершении вспомогательных тактов. Но тяжелый маховик применяется только для стационарных двигателей, работающих, как правило, на постоянном режиме. Тяжелый маховик вследствие значительной инерции не обеспечивает необходимой автотракторному двигателю приемистости, т. е. способности двигателя быстро развивать и уменьшать частоту вращения. Поэтому в автотракторных двигателях равномерность работы достигается не увеличением веса маховика, а за счет объединения в одном блоке несколько цилиндров, т. е. создавая многоцилиндровые двигатели. В многоцилиндровом двигателе такты рабочего хода равномерно чередуются в отдельных цилиндрах, след-

ствии чего в значительной мере уравниваются силы инерции, возникающие в кривошипно-шатунном механизме при работе двигателя.

Многоцилиндровые двигатели выпускают с различным (обычно четным) числом цилиндров – от двух до шестнадцати.

Расположение цилиндров может быть однорядным и двухрядным (как правило, V-образным). V-образное расположение цилиндров при том же объеме позволяет уменьшить длину двигателя по сравнению с рядным расположением цилиндров, а следовательно, удобнее установить место водителя и органы управления.

Для обеспечения наибольшей равномерности работы многоцилиндрового двигателя необходимо, чтобы такты рабочего хода в различных цилиндрах чередовались через равные промежутки времени и в определенной последовательности. Эта последовательность повторения одноименных тактов в различных цилиндрах называется порядком работы цилиндров двигателя.

Однако не при любом порядке обеспечивается хорошая работа двигателя. Необходимо, чтобы очередные такты рабочего хода следовали в цилиндрах, наиболее удаленных один от другого. В этом случае нагрузка на коренные подшипники коленчатого вала будет распределяться более равномерно; кроме того, отработавшие газы из цилиндра, в котором начинается выпуск, не будут попадать через выпускной трубопровод в цилиндр, в котором выпуск еще не закончился.

Наиболее распространенными порядками работы автомобильных двигателей являются: для четырехцилиндрового – 1-2-4-3 и 1-3-4-2, для шестицилиндрового – 1-5-3-6-2-4.

Рассмотрим, как происходит работа четырехтактного четырехцилиндрового двигателя с порядком работы цилиндров 1-2-4-3.

Так как рабочий цикл четырехтактного двигателя совершается за два оборота коленчатого вала (720°), а число рабочих ходов, происходящих за это время, равно четырем, то для правильного чередования рабочих ходов кривошипы коленчатого вала смещены один относительно другого на 180° ($720^\circ:4$), т. е. на пол-оборота коленчатого вала, и находятся, таким образом, в одной плоскости.

Во время работы двигателя поршни в первом и четвертом цилиндрах при первом полуобороте первого оборота коленчатого вала перемещаются от верхней мертвой точки к нижней, в первом цилиндре происходит рабочий ход, в четвертом цилиндре такт впуска (рис. 7). Во втором и третьем цилиндрах поршни перемещаются в это время к верхней мертвой точке – во втором цилиндре происходит такт сжатия, а в третьем такт выпуска.



Рис. 7. Порядок работы четырехцилиндрового двигателя

Во время второго полуоборота первого оборота коленчатого вала поршни в первом и четвертом цилиндрах перемещаются от нижней мертвой точки к верхней – в первом цилиндре происходит такт выпуска, а в четвертом такт сжатия. Поршни второго и третьего цилиндров в это время перемещаются от верхней мертвой точки к нижней – во втором цилиндре происходит рабочий ход, в третьем такт впуска.

Во время первого полуоборота второго оборота коленчатого вала поршни в первом и четвертом цилиндрах перемещаются от верхней мертвой точки к нижней – в первом цилиндре происходит такт впуска, в четвертом – рабочий ход. Поршни второго и третьего цилиндров в это время перемещаются от нижней мертвой точки к верхней – во втором цилиндре происходит такт выпуска, в третьем такт сжатия.

Во время второго полуоборота второго оборота коленчатого вала поршни в первом и четвертом цилиндрах перемещаются от нижней мертвой точки к верхней – в первом цилиндре происходит такт сжатия, в четвертом такт выпуска. Поршни во втором и в третьем цилиндрах перемещаются от верхней мертвой точки к нижней – во втором цилиндре происходит такт впуска, в третьем рабочий ход.

Четырехцилиндровый четырехтактный двигатель с порядком работы цилиндров 1-3-4-2 отличается от двигателя с порядком работы 1-2-4-3 лишь конструкцией распределительного механизма, которая определяет несколько иную последовательность открытия и закрытия клапанов и чередования тактов.

Оба порядка работы цилиндров, принятые для современных четырехтактных четырехцилиндровых двигателей, полностью равноценны и по равномерности и по качеству работы двигателей.

Порядок работы цилиндров обычно изображается в виде таблицы чередования тактов.

Порядок работы четырехцилиндрового ДВС

Полуоборот коленчатого вала	Углы поворота коленчатого вала, град.	Цилиндр			
		1	2	3	4
Первый	0..180	Рабочий ход	Выпуск	Сжатие	Впуск
Второй	180...360	Выпуск	Впуск	Рабочий ход	Сжатие
Третий	360...540	Впуск	Сжатие	Выпуск	Рабочий ход
Четвертый	540...720	Сжатие	Рабочий ход	Впуск	Выпуск

В шестицилиндровом однорядном двигателе коленчатый вал имеет шесть кривошипов. Так как рабочий цикл четырехтактного двигателя совершается за два оборота коленчатого вала (720°), а количество рабочих ходов за это время равно шести, то для правильного чередования рабочих ходов кривошипы коленчатого вала смещены один относительно другого на 120° ($720^\circ:6$), т. е. на одну треть оборота вала.

Для однорядных шестицилиндровых двигателей применяется следующее расположение кривошипов: 1–6 – вверх, 2–5 – налево, 3–4 – направо, если смотреть со стороны переднего конца вала.

При вращении коленчатого вала поршни в шестицилиндровом двигателе проходят через мертвые точки не все одновременно, как в четырехцилиндровом двигателе, а только попарно. Поэтому и такты во всех цилиндрах начинаются и кончаются также не одновременно, а смещены в одной паре цилиндров относительно другой на 60° .

Особенностью двухтактных дизелей является то, что их рабочий цикл совершается за один оборот коленчатого вала (360°). Поэтому и взаимное расположение кривошипов коленчатых валов имеет свои особенности: в четырехцилиндровом двигателе кривошипы смещены один относительно другого на 90° ($360^\circ:4$), в шестицилиндровом – на 60° ($360^\circ:6$).

В многоцилиндровых двигателях вследствие непрерывного чередования рабочих ходов и перекрытия их одного другим обеспечивается более плавное и равномерное вращение коленчатого вала. Многоцилиндровые двигатели работают более устойчиво, без толчков и сотрясений, присущих одноцилиндровым двигателям.

5.6. Основные показатели работы двигателя

Основными показателями работы двигателя считаются эффективными показателями, которые «снимаются» с коленчатого вала двигателя и полезно используется.

К числу эффективных показателей относятся: среднее эффективное давление, эффективная мощность, крутящий момент, эффективный КПД и эффективный удельный расход топлива.

Среднее эффективное давление – условное постоянное давления в цилиндре двигателя, при котором работа, произведенная рабочим телом за один такт, равнялась бы эффективной работе двигателя. Среднее эффективное давление характеризует полезную работу, получаемую за один цикл с единицы рабочего объема цилиндра:

$$p_e = \frac{L_e}{V_h} = \frac{L_i - L_{МП}}{V_h},$$

где L_e – эффективная работа;

V_h – рабочий объем цилиндров;

L_i – индикаторная работа;

$L_{МП}$ – мощность механических потерь;

Эффективная мощность – мощность, снимаемая с коленчатого вала двигателя. Эта мощность передается трансмиссии трактора или автомобиля, она меньше индикаторной на величину мощности, затрачиваемой на преодоление механических потерь, т.е.:

$$N_e = \frac{p_e V_h n i}{30\tau},$$

где n – частота вращения коленчатого вала;

i – число цилиндров двигателя;

τ – тактность двигателя.

Иногда эффективную мощность называют мощностью на валу двигателя.

Крутящий момент – средний за цикл момент, передаваемый от коленчатого вала силовой передаче автомобиля – определяется из выражения эффективной мощности:

$$N_e = \frac{M_\kappa \omega}{10^3},$$

где $\omega = \frac{\pi n}{30}$ – угловая скорость коленчатого вала двигателя.

Тогда

$$M_k = \frac{N_e 10^3}{\omega} = \frac{N_e 10^3 30}{\pi n} = 9550 \frac{N_e}{n}.$$

Степень использования теплоты с учетом механических потерь в двигателе определяется эффективным КПД η_e и эффективным удельным расходом топлива g_e .

Эффективный КПД – это отношение количества теплоты, преобразованной в полезную эффективную работу на валу двигателя при сгорании в его цилиндрах 1 кг топлива L_e , к теплоте сгорания топлива H_u :

$$\eta_e = \frac{L_e}{Q_1} = \frac{L_i - L_M}{Q_1} = \frac{L_i \eta_M}{Q_1} = \eta_i \eta_M,$$

или, так как $\eta_i = \eta_i \eta_o$, то $\eta_e = \eta_i \eta_o \eta_M$.

Эффективный КПД существенно зависит от режима работы двигателя. По мере уменьшения нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала η_e уменьшается вследствие уменьшения η_M и достигает нуля на режиме холостого хода двигателя. При работе двигателя с полной нагрузкой, по мере увеличения частоты вращения коленчатого вала (начиная от минимальной), эффективный КПД сначала возрастает (в основном за счет увеличения относительного КПД), а затем уменьшается (в основном за счет уменьшения η_M). В результате максимальное значение η_e имеет место при средних скоростных режимах работы двигателя.

Эффективный удельный расход топлива – расход топлива, приходящегося на один киловатт эффективной мощности в течение часа:

$$g_e = \frac{G_T 10^3}{N_e}.$$

Взаимосвязь η_e и g_e определяется выражением:

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u g_e}.$$

Литровая мощность определяет эффективность использования рабочего объема цилиндра и показывает, какую мощность можно по-

лучить от одного литра рабочего объема данного двигателя, т. е. определяет степень форсирования двигателя:

$$N_a = \frac{N_e}{V_h} = \frac{p_e n}{30\tau}.$$

Поршневая мощность – эффективная мощность отнесенная к 1 дм² площади сечения цилиндра:

$$N_{II} = \frac{N_e}{F_{II}i} = N_a S,$$

где F_{II} – площадь поршня;

S – ход поршня.

Величиной литровой мощности пользуются для сравнительной оценки различных ДВС с точки зрения совершенства рабочего процесса и конструктивного выполнения. Чем больше литровая мощность, тем более форсирован двигатель и меньше его габариты и масса.

Литровая мощность дизелей без наддува находится в пределах от 12 до 15 кВт/л и уступает аналогичному показателю двигателей с искровым зажиганием – 20...50 кВт/л. Для дизелей с наддувом – до 35 кВт/л.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Диагностирование автомобилей. Практикум: учеб. пособие / А. Н. Карташевич [и др.]; под ред. А. Н. Карташевича. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2011. – 207 с.
2. Карташевич, А. Н. Двигатели внутреннего сгорания. Основы теории и расчета: учеб. пособие / А. Н. Карташевич, Г. М. Кухаренок. – Горки: БГСХА, 2011. – 312 с.
3. Карташевич, А. Н. Тракторы и автомобили. Конструкция: учеб. пособие / А. Н. Карташевич, О. В. Понталев, А. В. Гордеенко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. – 311 с.
4. Карташевич, А. Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учеб. пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, А. В. Гордеенко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2015. – 420 с.
5. Устройство тракторов: учеб. пособие / А. Н. Карташевич [и др.]; под ред. А. Н. Карташевича. – Минск: РИПО, 2016. – 444 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Классификация тракторных и автомобильных двигателей	3
2. Основные требования к двигателям тракторов и автомобилей.....	5
3. Основные механизмы и системы двигателей и их назначение	6
4. Основные понятия и определения о работе двигателя.....	8
5. Принципы работы двигателей внутреннего сгорания.....	10
5.1. Принцип работы четырехтактного дизеля	10
5.2. Принцип работы четырехтактного двигателя с искровым зажиганием.....	12
5.3. Рабочий процесс двухтактного двигателя с искровым зажиганием	13
5.4. Особенности рабочего процесса дизеля с турбокомпрессором.....	15
5.5. Многоцилиндровые двигатели.....	16
5.6. Основные показатели работы двигателя	20
Библиографический список	23