

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений образования, обеспечивающих
получение общего высшего образования
по специальностям 6-05-0811-01 Производство продукции
растительного происхождения,
6-05-0811-05 Защита растений и карантин*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

УДК 621.43(075.8)

ББК 39.34я7

К27

*Рекомендовано методической комиссией
агротехнологического факультета 23.04.2024 (протокол № 8)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
24.04.2024 (протокол № 8)*

Авторы:

доктор технических наук, профессор *А. Н. Карташевич*;
кандидат технических наук, доцент *А. В. Гордеенко*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *В. А. Дремук*;
кандидат технических наук, доцент *И. С. Крук*

Карташевич, А. Н.

К27

Тракторы и автомобили. Двигатели внутреннего сгорания.
Устройство и работа поршневых двигателей : учебно-
методическое пособие / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко. –
Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 153 с.
ISBN 978-985-882-728-1.

Приведена классификация, систематизированы основы устройств и работа двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены конструкции деталей, механизмов и систем различных двигателей.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальностям 6-05-0811-01 Производство продукции растительного происхождения, 6-05-0811-05 Защита растений и карантин.

УДК 621.43(075.8)

ББК 39.34я7

ISBN 978-985-882-728-1

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Двигатель внутреннего сгорания – разновидность теплового двигателя, в котором топливная смесь сгорает непосредственно в рабочей камере (внутри) двигателя.

Анализ перспектив развития двигателестроения свидетельствует о том, что в обозримом будущем поршневые двигатели внутреннего сгорания сохранят свое доминирующее положение в сельскохозяйственном машиностроении.

Поршневые двигатели постоянно совершенствуются в первую очередь по экологическим и экономическим показателям, определяемым совершенством рабочего процесса.

Улучшение показателей рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания осуществляется за счет развития гибко управляемых систем топливоподачи и воздухообеспечения. При этом схема реализации рабочего процесса базируется на традиционных двух- или четырехтактных циклах, практически не претерпевших изменений за более чем столетнюю историю развития двигателей внутреннего сгорания.

1. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

1.1. Классификация двигателей внутреннего сгорания

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – это тепловая машина, которая преобразует энергию сгорания топлива в механическую работу.

В настоящее время на автотракторной технике, применяемой в сельском хозяйстве, используются главным образом поршневые ДВС. В этих двигателях топливо сгорает внутри цилиндров. Образующиеся при сгорании газы перемещают находящиеся в цилиндрах поршни, которые, двигаясь, заставляют вращаться связанный с ними через ряд сопряженных деталей коленчатый вал двигателя. Таким образом, тепловая энергия, образующаяся при сгорании топлива, превращается в механическую энергию вращающегося вала двигателя.

По виду применяемого топлива двигатели подразделяются на бензиновые, дизельные и газовые.

Бензиновые двигатели – класс двигателей внутреннего сгорания, в цилиндрах которых предварительно сжатая топливовоздушная смесь поджигается электрической искрой. Управление мощностью в данном типе двигателей производится, как правило, регулированием потока воздуха посредством дроссельной заслонки.

Дизельные двигатели работают на жидком топливе (дизельном топливе) с воспламенением от сжатия. Подача топлива осуществляется форсункой, а смешивание с воздухом происходит внутри цилиндра.

Газовые двигатели работают на пропано-бутановом газе с принудительным зажиганием. Перед подачей в цилиндры двигателя газ смешивается с воздухом в смесительном устройстве. По принципу работы такие двигатели практически не отличаются от карбюраторных (бензиновых).

Современные двигатели внутреннего сгорания можно классифицировать по следующим основным признакам:

- *по месту процесса сгорания и преобразования теплоты в работу:*

– ДВС, в которых получение теплоты и преобразование ее в работу осуществляется во внутрицилиндровом объеме, т. е. над силовым элементом (все поршневые, газотурбинные и роторные двигатели);

– комбинированные – с преобразованием теплоты в работу при расширении газа в цилиндре и продолженном его расширении в тур-

бине (турбопоршневые двигатели, комбинированные двигатели с силовой турбиной);

- *по способу организации рабочего цикла:*

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

- двухтактные – рабочий цикл осуществляется в цилиндре за два хода поршня, т. е. за один оборот коленчатого вала;

- *по способу действия:*

- простого действия – рабочий цикл осуществляется только в одной верхней полости цилиндра;

- двойного действия – рабочий цикл совершается в двух плоскостях цилиндра – в верхней и нижней (в настоящее время не выпускаются);

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

- *по способу подвода теплоты:*

- с подводом теплоты при почти постоянном объеме (по изохоре $V = \text{const}$), в основном двигателях с низкой степенью сжатия и принудительным зажиганием топлива (с искровым зажиганием и газовые);

- с подводом теплоты при почти постоянном давлении (по изобаре $P = \text{const}$), двигатели с высокой степенью сжатия, воздушным распылением топлива и самовоспламенением (компрессорные дизельные двигатели);

- со смешанным подводом теплоты (по изохоре $V = \text{const}$ и затем по изобаре $P = \text{const}$), все современные дизельные двигатели с высокой степенью сжатия, механическим распылением топлива и самовоспламенением от сжатия;

- *по роду применяемого топлива:*

- на жидком топливе (бензин, лигроин, керосин, дизельное топливо, моторное, соляровое масло и т. д.);

- на газообразном топливе (сжиженный, сжатый, генераторный и другие газы);

- многотопливные двигатели, приспособленные для работы на широком ассортименте топлив;

- на водородном топливе;

- *по способу наполнения цилиндра свежим зарядом:*

- без наддува – наполнение цилиндра обеспечивается перемещением поршня;

– с наддувом – 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);

- *по способу смесеобразования:*

– с внутренним смесеобразованием – горючая смесь образуется внутри цилиндра в процессе сжатия, после подачи в него топлива (дизельные двигатели, двигатели с искровым зажиганием и впрыском топлива в цилиндр, газовые двигатели с подачей газа в цилиндр);

– с внешним смесеобразованием – рабочая смесь образуется вне цилиндра двигателя (карбюраторные, газовые и двигатели с впрыском топлива во впускной трубопровод);

- *по конфигурации камер сгорания (КС):*

– с неразделенными однополостными КС;

– с полуразделенными КС (камера расположена в поршне);

– с разделенными КС (предкамерные и вихрекамерные двигатели);

- *по способу воспламенения топлива:*

– с самовоспламенением топлива от сжатия свежего заряда (дизельные двигатели);

– с принудительным зажиганием электрической искрой (карбюраторные, газовые и двигатели с впрыском легкого топлива);

– с комбинированным воспламенением (например, у газодизельных двигателей, 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;

- *по конструктивному исполнению:*

– нереверсивные, имеющие одно постоянное направление вращения;

– реверсивные – перемена направления вращения осуществляется реверсивным механизмом;

- *по системе охлаждения:*

– с жидкостной системой;

– с воздушной системой;

- *по частоте вращения:*

- малооборотные ($100\text{--}350 \text{ мин}^{-1}$);
- среднеоборотные ($350\text{--}1500 \text{ мин}^{-1}$);
- повышенной оборотности ($1500\text{--}3000 \text{ мин}^{-1}$);
- высокооборотные (выше 3000 мин^{-1});

• по назначению:

- транспортные;
- специальные;
- автомобильные;
- тракторные;
- комбайновые.

Приведенная классификация двигателей служит для оценки отдельных показателей их технического уровня. Обычно же автотракторные двигатели принято классифицировать только по типоразмерам и области применения.

1.2. Механизмы и системы поршневых двигателей

В состав современного двигателя входят два основных механизма – кривошипно-шатунный и газораспределительный и системы охлаждения, смазки, питания и пуска.

1. *Кривошипно-шатунный механизм* 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.

2. *Газораспределительный механизм* обеспечивает впуск в цилиндры воздуха и выпуск отработавших газов в определенные моменты относительно верхней мертвой точки (ВМТ) и нижней мертвой точки (НМТ) при перемещении поршня в соответствии с происходящими процессами в цилиндрах двигателя. Основные элементы: распределительный вал, механизм привода клапанов, клапаны. Дизельные двигатели тракторов 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).

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

4. *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 фильтром, масляный насос, масляный фильтр, масляный радиатор. Система обеспечивает смазку элементов под давлением и разбрызгиванием.

5. *Система питания* представляет собой совокупность сборочных единиц и устройств, предназначенных для тщательной 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 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.

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

1.3. Общепринятые понятия 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.

Крайнее верхнее положение поршня в цилиндре (рис. 1.1) называется *верхней мертвой точкой* (ВМТ).

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

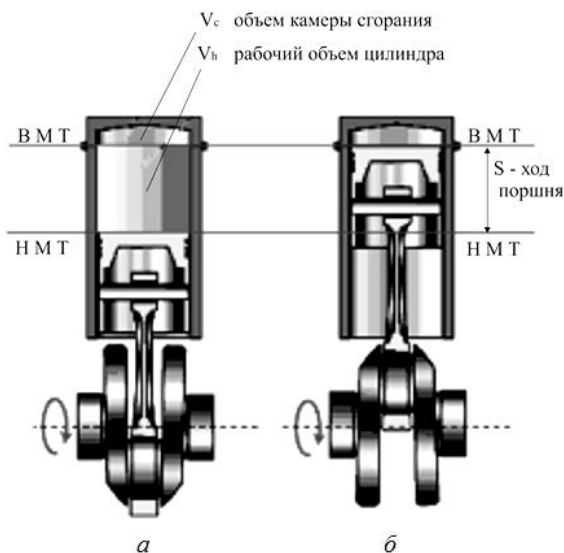


Рис. 1.1. Ход поршня и объемы цилиндра двигателя:

а – поршень в нижней мертвой точке;

б – поршень в верхней мертвой точке

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

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. 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 (камеры сжатия) и обозначается V_c .

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

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

где D – диаметр поршня.

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

$$V_a = V_c + V_h.$$

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.

Рабочий объем двигателя – сумма рабочих объемов всех цилиндров, измеряется он в литрах. В данном случае мы рассматриваем только одноцилиндровый двигатель, а, как правило, двигатели имеют 4, 6, 8 и даже 12 цилиндров. Соответственно, чем больше рабочий объем, 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, т. е. в ВМТ. С увеличением сте-

пени сжатия повышается мощность и топливная экономичность двигателя. Однако повышение степени сжатия и в двигателях с искровым зажиганием, и 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 6–12, на газе – 8–10, а дизели – 16–20.

Эффективность работы двигателя определяется следующими основными показателями: мощностью двигателя (N_e), крутящим моментом (M_k), частотой вращения коленчатого вала (n) и удельным расходом топлива (g_e). Рассмотрим сущность основных показателей работы двигателя.

Действуя на тело и вызывая его перемещение, сила совершает работу. Величина работы равняется произведению силы на путь, совершенный телом. Работа, производимая в одну секунду, называется мощностью (N_e) и выражается в ваттах.

В автотракторных двигателях газы, образующиеся при сгорании рабочей смеси, перемещают поршни в цилиндрах, т. е. совершают работу, и в результате двигатель развивает определенную мощность. Мощность, развиваемая газами в цилиндрах, называется *индикаторной*. Мощность, развиваемая на коленчатом валу двигателя, называется *эффективной мощностью* двигателя. Эффективная мощность меньше индикаторной на величину мощности механических потерь, которая затрачивается на трение между деталями и на привод вспомогательных механизмов двигателя.

Эффективная мощность двигателя зависит от частоты вращения коленчатого вала. Мощность двигателя возрастает с увеличением частоты вращения, но до определенных пределов. Последующее повышение частоты вращения коленчатого вала двигателя вызывает падение мощности, так как наполнение цилиндров свежей горючей смесью ухудшается, а потери на трение сопряженных деталей двигателя возрастают. Поэтому при указании *номинальной мощности* двигателя одновременно указывается и частота вращения, соответствующая этой мощности.

Для автотракторных двигателей желательно при наименьшем литраже получить наибольшую мощность. Для сравнения различных конструкций двигателей берут их *литровую мощность*, т. е. количество киловатт, приходящееся на 1 л рабочего объема двигателя.

Если сила, приложенная к какому-нибудь телу, заставляет его вращаться, то усилие, с которым тело вращается, зависит от величины действующей силы и расстояния (плеча) от центра вращения до точки приложения силы. Произведение силы (в ньютонах) на плечо (в метрах) называется *крутящим моментом* (M_k), величина которого выражается в ньютон-метрах ($H \cdot m$). При работе двигателя на его коленчатом валу развивается крутящий момент определенной величины, который через ряд механизмов передается на ведущие колеса или звездочки и приводит в движение машину.

Крутящий момент зависит также от частоты вращения коленчатого вала: с возрастанием частоты вращения крутящий момент сначала увеличивается, достигая максимального значения, а затем плавно уменьшается. Крутящий момент, как правило, достигает максимальной величины при значительно меньшей частоте вращения коленчатого вала, чем номинальное значение мощности двигателя.

Удельный эффективный расход топлива (g_e) выражается количеством граммов расходуемого горючего в час на единицу мощности двигателя. Величина удельного расхода топлива характеризует экономичность работы двигателя. У дизелей он не превышает 260 г/кВт · ч, а у двигателей с искровым зажиганием – 320 г/кВт · ч.

Номинальные показатели работы двигателя конкретной марки приводятся предприятием-изготовителем в техническом описании и инструкции по эксплуатации.

Эффективный коэффициент полезного действия – отношение количества теплоты, превращенной в механическую работу, к количеству теплоты, содержащейся в топливе. У дизелей этот коэффициент находится в пределах 32–40 %, а у двигателей с искровым зажиганием – 24–32 %. Остальная теплота отводится системой охлаждения (20–30 %) и отработавшими газами (25–35 %).

Механический коэффициент полезного действия – отношение эффективной мощности к индикаторной. Он составляет 80–90 % и зависит от качества обработки деталей, правильности сборки двигателя и смазывания трущихся поверхностей. Чем меньше изношен и лучше отрегулирован двигатель, тем меньше потери энергии на трение и привод вспомогательных механизмов, тем больше его эффективная мощность и экономичность.

1.4. Рабочие циклы двигателей внутреннего сгорания

1.4.1. Двухтактный ДВС с искровым зажиганием

Существует два основных типа двигателей: двухтактные и четырехтактные. В двухтактных двигателях все рабочие циклы (процессы впуска топливной смеси, выпуска отработавших газов, продувки) происходят в течение одного оборота коленчатого вала за два основных такта (рис. 1.2).

У двигателей такого типа обычно отсутствуют клапаны (как у четырехтактных 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. 1.2, *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. 1.2, *б*) создает разрежение в кривошипной камере 1. Под действием этого разрежения открывается клапан впускного коллектора 4, и свежая порция топливоздушной смеси засасывается в кривошипную камеру.

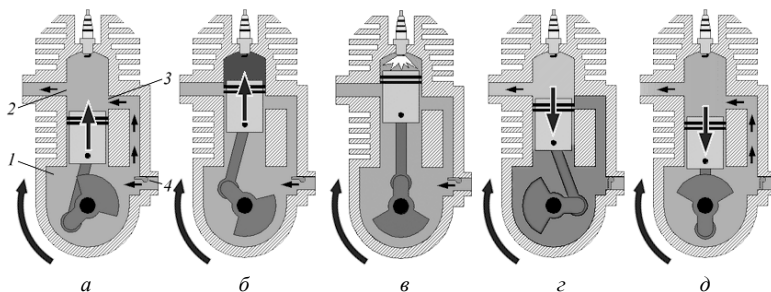


Рис. 1.2. Схема работы двухтактного двигателя: *а* – начало такта сжатия; *б* – окончание такта сжатия; *в* – сгорание рабочего тела (начало такта рабочего хода); *г* – окончание такта рабочего хода; *д* – продувка цилиндра свежим зарядом; 1 – кривошипная камера; 2 – выпускное окно; 3 – продувочное окно; 4 – клапан впускного коллектора

Такт рабочего хода. При положении поршня около ВМТ сжатая рабочая смесь воспламеняется электрической искрой от свечи (рис. 1.2, *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 топливовоздушную 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. 1.2, *г*), оно открывается и начинается выпуск отработавших газов в атмосферу, давление в цилиндре понижается.

При дальнейшем перемещении поршень открывает продувочное окно (рис. 1.2, *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, начинается новый рабочий цикл (рис. 1.2, *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, как у бензиновых двигателей;
- большую мощность в пересчете на 1 литр рабочего объема;
- простоту и невысокую стоимость при изготовлении.

1.4.2. Дизельный четырехтактный ДВС

Рабочий цикл четырехтактного 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 них впрыскивается мелкораспыленное топливо, которое под действием высокой температуры воздуха самовоспламеняется.

Впуск (первый такт, рис. 1.3, *а*). Поршень 1 перемещается вниз и, действуя подобно насосу, создает разрежение в цилиндре 2. Через открытый впускной клапан 3 в цилиндр поступает чистый воздух из-за

разности давлений. Выпускной клапан 5 закрыт. В конце такта закрывается и впускной клапан.

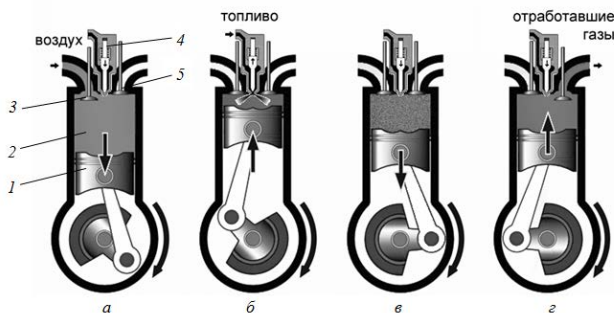


Рис. 1.3. Схема работы четырехтактного одноцилиндрового дизеля:

а – впуск; *б* – сжатие; *в* – рабочий ход; *г* – выпуск;

1 – поршень; 2 – цилиндр; 3 – впускной клапан; 4 – форсунка; 5 – выпускной клапан

Сжатие (второй такт, рис. 1.3, *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 форсунку 4 в цилиндр впрыскивается порция дизельного топлива в мелко-распыленном состоянии.

Рабочий ход, или расширение (третий такт, рис. 1.3, *в*). Мелкие части топлива, соприкасаясь с нагретым сжатым воздухом, самовоспламеняются. Впрыскивание топлива через форсунку и его горение продолжают 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 °С, давление повышается до 8–10 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. 1.3, *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.

1.4.3. Четырехтактный ДВС с искровым зажиганием

В отличие от дизеля у двигателя с искровым зажиганием воздух и топливо поступают в цилиндр одновременно в виде горючей смеси, приготовленной во впускном коллекторе (центральная и распределенная инжекторная система) (рис. 1.4). Горючая смесь воспламеняется от искровой свечи зажигания, установленной в головке цилиндра.

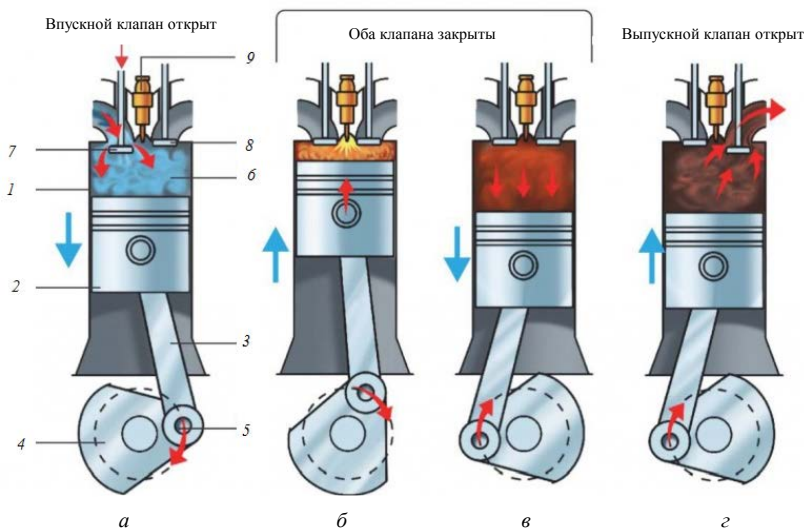


Рис. 1.4. Схема работы четырехтактного одноцилиндрового двигателя с искровым зажиганием: а – впуск; б – сжатие; в – рабочий ход; г – выпуск отработавших газов;

1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шатун; 4 – коленчатый вал; 5 – шатунная шейка коленчатого вала; 6 – горючая смесь; 7 – впускной клапан; 8 – выпускной клапан; 9 – свеча зажигания

Рабочий цикл четырехтактного двигателя с искровым зажиганием протекает следующим образом.

Впуск. Поршень перемещается вниз. Впускной клапан открыт. Вследствие разрежения внутрь цилиндра через впускной клапан поступает горючая смесь, которая перемешивается с остаточными газами, в результате чего образуется рабочая смесь (рис. 1.4, а).

Сжатие. Поршень движется вверх. Впускной и выпускной клапаны закрыты (рис. 1.4, б).

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. 1.4, 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. Поршень движется вверх. Открыт выпускной клапан. Отработавшие газы выходят через выпускной клапан наружу (рис. 1.4, г).

1.4.4. 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 устанавливают на коленчатом валу маховик (накапливает энергию во время рабочего хода и отдает ее при совершении вспомогательных тактов) и используют многоцилиндровый двигатель.

В многоцилиндровом двигателе такты рабочего хода равномерно чередуются в отдельных цилиндрах, вследствие 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 2 до 16.

Расположение цилиндров может быть однорядным и двухрядным (как правило, V-образным) и оппозитным (рис. 1.5).

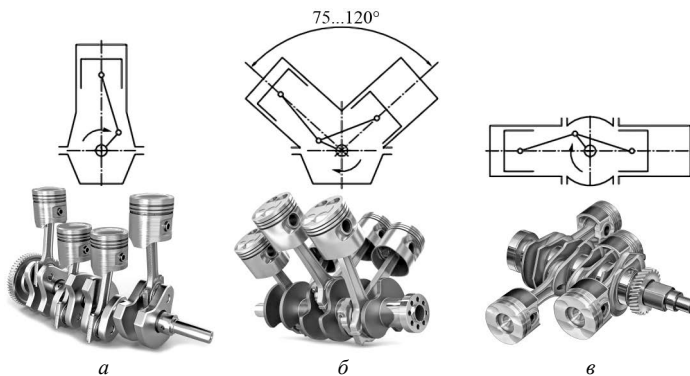


Рис. 1.5. Схемы расположения цилиндров двигателей:
а – рядное; б – V-образное; в – оппозитное

Самый простой по расположению цилиндров двигатель – рядный (цилиндры обычно обозначают R2, R3, R4 и т. д., в зависимости от их числа). С увеличением числа цилиндров двигатель становится длиннее. Для уменьшения длины двигателя и увеличения жесткости основных деталей и узлов конструкции применяют V-образные схемы кривошипно-шатунных механизмов (цилиндры обозначают V2, V4, V6, V8 и т. д.), в которых блоки цилиндров располагаются под углом $75\text{--}120^\circ$. Двигатели с углом «развала» между блоками 180° называют оппозитными. Такие двигатели конструктивно сложнее и шире рядных, поэтому они в основном используются для транспортных средств, в которых необходимо иметь пониженный центр тяжести (легковые автомобили) или двигатель небольшой высоты (автобусы с расположением силового агрегата под полом салона).

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 повторе-

ния 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 удобными 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 ВМТ к НМТ, в первом цилиндре происходит рабочий ход, в четвертом цилиндре – такт впуска. Во втором и третьем цилиндрах поршни перемещаются в это время к ВМТ – во втором цилиндре происходит такт сжатия, а в третьем – такт выпуска.

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

Порядок работы цилиндров обычно изображается в виде таблицы чередования тактов (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Порядок работы четырехцилиндрового ДВС

Полуоборот коленчатого вала	Углы поворота коленчатого вала, град	Цилиндр			
		первый	второй	третий	четвертый
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 настоящее время широко используются шестицилиндровые двигатели, у которых цилиндры расположены в один ряд. Такие двигатели называются однорядными в отличие от двигателей, цилиндры которых расположены в два ряда под некоторым углом один к другому.

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.

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 двигателей 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.

1.4.5. Сравнительная оценка ДВС

Дизельные двигатели по сравнению с двигателями с искровым зажиганием более экономичны. Вследствие высокой степени сжатия в них расходуется топлива (на единицу произведенной работы) меньше на 25 %. Дизели работают на тяжелых сортах топлива, которое менее опасно в пожарном отношении. Однако им свойственны и некоторые недостатки: они более массивны, поскольку высокое давление газов в цилиндре требует увеличения прочности деталей; у них большие жесткость и шумность работы; их труднее запускать, особенно в зимнее время. Эксплуатационной практикой ДВС доказана целесообразность использования на тракторах дизельных двигателей в качестве основных.

Сравнение четырех- и двухтактных двигателей показывает, что при одинаковых размерах цилиндров и при той же частоте вращения коленчатого вала мощность двухтактного двигателя значительно больше. И хотя рабочих ходов поршня за цикл у двухтактного двигателя больше в 2 раза, мощность выше только в 1,6–1,7 раза. В данном случае мощность теряется вследствие неиспользования части рабочего объема, ухудшения очистки и наполнения цилиндров.

К преимуществам двухтактных двигателей следует еще отнести большую равномерность крутящего момента, так как рабочий цикл осуществляется за каждый оборот коленчатого вала; конструктивно они проще четырехтактных равной мощности, имеют меньшую массу и габариты.

Двухтактные двигатели по сравнению с четырехтактными имеют следующие недостатки: больший расход топлива, так как часть свежего заряда теряется во время продувки цилиндров; меньший межремонтный срок, что объясняется большей тепловой напряженностью и тем, что в двухтактных двигателях труднее обеспечить качественную смазку деталей (для двигателей такого типа смазкой и топливом служит смесь, состоящая из 15–22 частей (по объему) бензина и одной части масла).

Двухтактные двигатели с кривошипно-камерной продувкой применяются в случаях, когда при меньшей долговечности и экономичности целесообразно иметь легкий, мощный, простой и дешевый двигатель. Поэтому их используют в качестве пусковых двигателей и на мало-мощной сельскохозяйственной технике (мотоблоках и т. д.).

Контрольные вопросы

1. Из каких механизмов и систем состоит двигатель внутреннего сгорания, каково их назначение?
2. Как классифицируются двигатели внутреннего сгорания?
3. В чем состоят принципиальные различия в процессе работы четырехтактных дизельных двигателей и двигателей с искровым зажиганием?
4. Как протекает рабочий процесс в двухтактном двигателе?
5. Какими основными показателями характеризуется эффективность работы ДВС?
6. Сколько механизмов и систем включает в себя двигатель внутреннего сгорания?
7. Что называется порядком работы цилиндров двигателей внутреннего сгорания?
8. Каков порядок работы четырехцилиндрового двигателя?
9. Как называются точки, в которых скорость поршня равна нулю и он достигает крайних положений при своем движении?
10. Что такое верхняя мертвая точка (ВМТ)?
11. За сколько оборотов коленчатого вала совершается рабочий цикл в четырехтактном и двухтактном двигателях?
12. Поршень движется от НМТ к ВМТ, открыт выпускной клапан. Какой такт происходит в цилиндре двигателя?
13. При каком такте коленчатый вал получает энергию от поршня?
14. На какие типы делятся двигатели по способу смесеобразования?
15. От отношения каких параметров зависит степень сжатия двигателя?
16. Что такое объем камеры сгорания?
17. Как правильно называется объем, освобождаемый при движении поршня в цилиндре от ВМТ к НМТ?
18. Какой двигатель имеет большую степень сжатия и почему?
19. Какие преимущества имеет V-образный двигатель перед рядным?

2. ТОПЛИВНО-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

2.1. Автомобильные бензины

Бензином называют горючую смесь легких углеводородов с различными примесями. Температура кипения – от 33 до 205 °С. Средняя плотность составляет 0,71–0,76 г/см³. Начало кристаллизации происходит при температуре –60 °С. Получают бензин путем переработки нефти и в основном используют в качестве моторного топлива. Смесь легко испаряется уже при температуре 30 °С, а с ростом температуры этот процесс ускоряется.

Физико-химические свойства автомобильных бензинов и регулировочные параметры двигателей должны быть тщательно увязаны друг с другом. К основным характеристикам автомобильных бензинов относят: детонационную стойкость, испаряемость (фракционный состав и давление насыщенных паров), плотность, углеводородный состав.

Одним из основных показателей качества автомобильных бензинов является их детонационная стойкость, от которой в наибольшей степени зависят надежность, повышение мощности, экономичность и продолжительность эксплуатации двигателя автомобиля.

В качестве показателя антидетонационных свойств бензинов, получившего название «октановое число», было принято содержание изооктана в смеси с нормальным гептаном, которая эквивалентна по своим антидетонационным качествам испытываемому топливу. Октановое число химически чистого нормального гептана принято за 0, а октановое число химически чистого изооктана – за 100. Составляя смеси изооктана с нормальным гептаном в объемных процентах, можно получить эталонные смеси с детонационной стойкостью от 0 до 100 единиц (например, октановое число бензина равно 92, значит, по детонационным свойствам он эквивалентен смеси 92 % изооктана и 8 % нормального гептана).

В настоящее время применяется исследовательский метод определения октановых чисел, который характеризует детонационную стойкость автомобильных бензинов в условиях работы двигателя на частичной нагрузке и меньшей тепловой напряженности (движение по городу).

Испаряемость бензина оценивается показателями фракционного состава и летучести (давление насыщенных паров, потери от испарения и

склонность к образованию паровых пробок). Испаряемость бензина должна обеспечивать оптимальный состав топливовоздушной смеси на всех режимах работы двигателя независимо от способа ее приготовления.

С испаряемостью бензина связаны такие характеристики двигателя, как пуск при низких температурах, вероятность образования паровых пробок в системе питания в летний период, приемистость автомобиля, скорость прогрева двигателя, а также износ цилиндропоршневой группы и расход топлива.

Согласно ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный» все автомобильные бензины по испаряемости подразделяются на 10 классов. Применение бензина того или иного класса определяется климатическими условиями, а также особенностями автотранспорта.

Химический состав бензинов характеризуют групповым углеводородным составом, т. е. содержанием в них ароматических, олефиновых, нафтеновых и парафиновых углеводородов.

Увеличение содержания сернистых соединений в бензине приводит к повышению нагарообразования и износа деталей двигателя, старению моторного масла, а также оказывает существенное влияние на загрязнение окружающей среды как непосредственно – выбросы оксидов серы, твердых частиц, так и косвенно – снижение эффективности работы каталитического нейтрализатора отработавших газов.

Повышение содержания ароматических углеводородов в бензине, как правило, ведет к соответствующему увеличению их в выбросах несгоревших углеводородов, например бенз(альфа)пирена и бензола, оказывающих отравляющее воздействие на организм человека.

Содержание олефиновых углеводородов в бензинах должно быть минимальным, так как они являются основным источником образования смолистых веществ в бензине. Увеличение содержания олефиновых углеводородов также влияет на повышение эмиссии в окружающую среду озonoобразующих веществ и токсичных диеновых соединений с отработавшими газами.

Согласно ГОСТ 32513-2013 и нормам технического регламента (2011) на территории Республики Беларусь разрешено применение автомобильных бензинов марок АИ-92-К5, АИ-95-К5, АИ-98-К5. Рассмотрим, как расшифровывается это обозначение на примере АИ-92-К5:

А – вид: автомобильный бензин;

И – способ определения октанового числа – исследовательский;

92 – величина октанового числа топлива;

K5 – класс экологичности бензина (массовая доля серы не должна превышать 10 мг/кг).

Необходимо всегда внимательно относиться к качеству топлива и заливать только рекомендованный производителем по октановому числу бензин.

2.2. Дизельное топливо

Дизельные топлива – это нефтяные фракции, выкипающие при температуре в пределах 180–360 °С. Дизельное топливо – прозрачная, более вязкая, чем бензин, жидкость. Его окраска зависит от содержащихся смол и меняется от желтого до светло-коричневого цвета. Дизельное топливо в воде практически не растворяется и имеет плотность 0,83–0,86 г/см³.

В дизельных двигателях топливо смешивается с воздухом непосредственно в камере сгорания, и отсутствует принудительное зажигание рабочей смеси. Отсюда специфические требования к качеству дизельного топлива. В цилиндрах дизельного двигателя сжимается не рабочая смесь, а воздух. В воздух, сжатый в цилиндре до 3,0–7,0 МПа и нагретый за счет высокого давления до 500–800 °С, под высоким давлением (до 150 МПа) через форсунку впрыскивается топливо. Оно испаряется, нагревается до температуры самовоспламенения, перемешивается с горячим воздухом и сгорает. Сложные процессы смесеобразования и сгорания топлива осуществляются за небольшой промежуток времени, соответствующий 20–25° поворота коленчатого вала.

Воспламенение топлива в дизеле – сложный и многостадийный процесс. Поскольку посторонних источников воспламенения топлива дизель не имеет, то важнейшим показателем дизельного топлива является способность его к самовоспламенению. Топливо при впрыскивании в камеру сгорания воспламеняется не сразу. Всегда происходит определенная задержка воспламенения. Чем она меньше, тем более плавно идет процесс сгорания, а, следовательно, двигатель испытывает меньшие динамические нагрузки, работает мягко, без стуков.

Для оценки способности топлива к самовоспламенению стандартизован специальный показатель – цетановое число. Цетановым числом (ЦЧ) называют процентное (по объему) содержание цетана в смеси его с α -метилнафталином при условии, что эта смесь на стандартной уста-

новке и стандартном режиме имеет такую же задержку воспламенения, как и исследуемое топливо.

Содержание углеводородов и других веществ влияет на свойства и особенности применения дизтоплива:

- стойкость к низким температурам. Максимальные показатели принадлежат зимнему и арктическому дизтопливу. Чтобы этого добиться, в состав добавляют тяжелые углеводороды;

- износ двигателя. Происходит быстрее, если в составе больше нафтеновых углеводородов, смол и других примесей;

- испаряемость. Чем больше смолистых примесей, тем хуже испаряется дизтопливо и сложнее происходит воспламенение;

- вязкость. Определяет возможность использования дизтоплива при отрицательной температуре. Чем больше парафиновых углеводородов, тем быстрее кристаллизуется (застывает) топливо: летнее – при -10°C , а густеет уже при -5°C . Чтобы снизить температуру застывания, дизель подвергают депарафинизации – очищению от парафинов. Чем их меньше, тем более низкие температуры может выдержать нефтепродукт;

- цетановое число. Определяет степень воспламеняемости горючего в цилиндре. Чем больше парафинов, тем выше цетановое число и больше показатель воспламеняемости. От ЦЧ зависят и пусковые свойства топлива. Чем оно меньше, тем хуже пусковые свойства. Применение топлив с цетановым числом менее 40 приводит к жесткой работе двигателя. Чрезмерное увеличение ЦЧ (более 55) также нецелесообразно, так как при этом очаги рано воспламенившегося топлива встречаются с еще неиспарившимся топливом, что приводит к вялому, неполному сгоранию и, следовательно, к ухудшению топливной экономичности двигателя при одновременном увеличении дымности отработавших газов.

В соответствии с ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное. Технические условия» в зависимости от условий применения установлены следующие марки дизельного топлива:

Л – летнее дизельное топливо, рекомендуемое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха -5°C и выше;

Е – межсезонное дизельное топливо, рекомендуемое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха -15°C и выше;

З – зимнее дизельное топливо, рекомендуемое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха до -25°C (предельная темпе-

температура фильтруемости – не ниже -25°C) и до -35°C (предельная температура фильтруемости – не ниже -35°C);

А – арктическое дизельное топливо, рекомендуемое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха -45°C и ниже.

Обозначение дизельного топлива включает следующие группы знаков, расположенных через дефис, например ДТ-Л-К5:

ДТ – дизельное топливо;

Л (Е, З, А) – условия применения;

К5 – экологический класс топлива (содержание серы – не более 10 мг/кг).

2.3. Газообразное топливо

В настоящее время широкое применение находят альтернативные виды топлива – природный газ и сжиженный нефтяной газ (пропан-бутан).

Автомобильные газовые топлива должны отвечать следующим требованиям:

- хорошая смешиваемость с воздухом для образования однородной горючей смеси;
- высокая калорийность образуемой горючей смеси;
- отсутствие детонации при сгорании в цилиндрах двигателя;
- минимальное содержание смолистых веществ и механических примесей, а также веществ, вызывающих коррозию поверхностей деталей, окисление и разжижение масла в картере двигателя;
- минимальное образование токсичных и канцерогенных веществ в продуктах сгорания;
- способность сохранять состав и свойства во времени и объеме;
- невысокая цена производства и транспортировки.

Сжатый (компримированный) природный газ (КПГ) получают разными способами: непосредственно из газовых скважин, как продукт переработки нефти и путем фракционирования газового конденсата или нефтяного попутного газа.

В состав КПГ входят: 82–92 % метана, до 6 % этана, до 1,5 % пропана, до 1 % бутана.

Для повышения эффективности применения КПГ необходимо увеличивать степень сжатия двигателя и повышать коэффициент наполнения путем увеличения диаметра впускного трубопровода, изменения фаз газораспределения.

КПГ более безопасен, чем сжиженный нефтяной газ (СНГ), так как он легче воздуха и при утечке улетучивается.

Основными компонентами сжиженных газов (современного топлива для двигателей) являются пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) и их смеси. Получают эти углеводороды из газов, сопутствующих нефти, при бурении скважин и из газообразных фракций, образующихся при различных видах переработки нефтепродуктов и каменного угля.

Октановое число пропана – 105, а нормального бутана и изобутана – 94. Плотность сжиженных газов составляет 510–580 кг/м³, т. е. они почти в 2 раза легче воды. Вязкость газов очень мала, что облегчает их транспортировку по трубопроводам.

ГОСТ 27578-87 устанавливает следующие марки СНГ:

ПА – пропан автомобильный для применения в зимний период при температуре от –20 до –30 °С;

ПБА – пропан-бутан автомобильный для применения при температуре не ниже –20 °С.

Также существуют марки:

СПБТз – пропан-бутановая смесь техническая зимняя;

СПБТл – пропан-бутановая смесь техническая летняя.

Преимущества газообразных топлив:

- экономия нефти;
- дешевле бензина в 1,5–2 раза;
- высокая детонационная стойкость (позволяет повышать степень сжатия ДВС, а следовательно, его топливную экономичность);
- снижение токсичности отработавших газов (практически нет серы);
- улучшение топливной экономичности ДВС (возможна работа на более бедных горючих смесях);
- снижение износа деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ);
- увеличение срока службы моторного масла;
- увеличение ресурса двигателя вследствие отсутствия нагара на деталях ЦПГ.

Недостатки:

- неудобство транспортировки, хранения и содержания на транспортном средстве из-за высокой взрывоопасности;
- снижение мощности по сравнению с бензином и дизельным топливом на 18–20 %;
- снижение полезной нагрузки транспортного средства из-за большой массы газовых баллонов;

- снижение запаса хода на 30–40 %;
- увеличение трудоемкости обслуживания.

2.4. Моторные масла

Моторными маслами называют масла, применяемые в двигателях внутреннего сгорания для их смазывания. Условия работы масел в ДВС постоянно ужесточаются. Форсирование нагрузочных и скоростных режимов двигателей, уменьшение удельной емкости системы смазки приводят к росту температуры основных деталей и, как следствие, к интенсификации процессов окисления масел.

Моторные масла классифицируют: по назначению – для бензиновых, дизельных двигателей и универсальные; по климатическим условиям – летние, зимние и всесезонные. Базовые моторные масла делят на минеральные (полученные из нефти), синтетические (полученные в результате синтеза органических веществ) и полусинтетические (смесь минерального и синтетических компонентов).

Вязкость – это одна из важнейших характеристик масел. Моторные масла, как и большинство смазочных материалов, изменяют вязкость в зависимости от своей температуры. Чем ниже температура, тем больше вязкость, и наоборот. Чтобы обеспечить холодный пуск двигателя (проворачивание коленчатого вала стартером и прокачивание масла по системе смазки) при низких температурах, вязкость не должна быть очень большой. При высоких температурах, наоборот, масло не должно иметь очень малую вязкость, чтобы создавать прочную масляную пленку между трущимися деталями и необходимое давление в системе.

Для увеличения срока эксплуатации масла и повышения его качественных показателей в масла добавляют присадки.

При современном уровне развития двигателестроения использование масла без присадок практически невозможно, так как невозможно создание масел, которые обеспечили бы эффективную защиту двигателя и одновременно не разрушались в течение длительного времени. Все современные моторные масла содержат в своем составе пакет (набор) присадок, содержание которых суммарно может достигать 20 %.

Для облегчения выбора масла требуемого качества для конкретного типа двигателя и условий его эксплуатации существуют системы классификации. В настоящее время одновременно существуют несколько систем классификации моторных масел – API, ILSAC, ACEA и ГОСТ

(для стран СНГ). В каждой системе моторные масла подразделяются на ряды и категории, основанные на уровне качества и назначении. Эти ряды и категории созданы по инициативе национальных и международных организаций нефтеперерабатывающих компаний и автопроизводителей. Назначение и уровни качества являются основой ассортимента масел. Наряду с общепринятыми системами классификаций существуют и требования (спецификации) производителей автомобилей. Кроме классификаций масел по уровню качества используется и система классификации по вязкости – SAE.

Так, например, согласно ГОСТ 17479.1-85 маркировка масел включает следующие знаки:

- букву М (моторное);
- одно или два числа, разделенные дробью, указывающие класс или классы вязкости (для всесезонных масел). Для всесезонных масел цифра в числителе характеризует зимний класс, а в знаменателе – летний; буква з указывает на то, что масло загущенное, т. е. содержит загущающую (вязкостную) присадку;
- одну или две буквы (от А до Е), обозначающие уровень эксплуатационных свойств и область применения данного масла. Универсальные масла обозначают буквой без индекса или двумя разными буквами с разными индексами. Индекс 1 присваивают маслам для бензиновых двигателей, индекс 2 – маслам для дизельных двигателей.

Например, марка М-6з/10В указывает, что это моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей и бензиновых двигателей (группа В); марка М-4з/8-В₂Г₁ – моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей (группа В₂) и высокофорсированных бензиновых двигателей (группа Г₁).

Согласно классификации SAE, масла подразделяются на группы: летние, всесезонные, зимние. Летние масла маркируются цифрами: 20, 30, 40, 50, 60 (вязкость в секундах Сейболта при температуре 98,9 °С); зимние – 0W, 10W, 15W, 20W, 25W (цифры означают вязкость в секундах Сейболта, а W – первая буква английского слова winter – зима); всесезонные (загущенные) масла имеют двойную нумерацию. Например, SAE 10W-40 означает, что данное масло при температуре –17,8 °С соответствует по вязкости SAE 10, а при температуре 98,9 °С – SAE 40.

Чем меньше цифра, стоящая перед буквой «W», тем меньше вязкость масла при низкой температуре и легче холодный пуск двигателя. Чем больше цифра, стоящая после буквы W, тем больше вязкость мас-

ла при высокой температуре и надежнее смазывание двигателя в летнюю жару.

По классификации API моторные масла подразделяются на две категории: S (Service) и C (Commercial). К первой относятся масла для четырехтактных бензиновых двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов, пикапов; ко второй – масла для дизелей автотранспорта, промышленных и сельскохозяйственных тракторов, дорожно-строительной техники.

Уровни эксплуатационных свойств в порядке их возрастания обозначают первыми буквами латинского алфавита, стоящими за знаками категорий S (бензиновые двигатели) или C (дизельные двигатели). Например, SH и SJ – категории Service; CF, CF-2, CF-4, CG-4 – категории Commercial. EC обозначает наличие у масла энергосберегающих свойств (экономия топлива).

Классификация ILSAC содержит два класса масел, обозначаемых GF-1 и GF-2. Они обязательно энергосберегающие и всесезонные.

Согласно классификации ACEA, масла по назначению делятся на три категории: A – для бензиновых двигателей, B – для дизелей легковых автомобилей, E – для дизелей грузовых автомобилей. Каждая категория содержит по три класса 1–3.

При выборе масла нужно помнить несколько основных моментов – это правильный выбор необходимого химического состава (минеральное, синтетическое, полусинтетическое), параметр классификации по вязкости и знать необходимые требования относительно набора присадок (определяется в классификациях API и ACEA). Также на этикетке должна содержаться информация, указывающая, для каких марок машин подходит данный продукт. Не менее важно обращать внимание на дополнительные обозначения моторного масла. Например, маркировка Long Life свидетельствует о том, что масло подходит для машин с увеличенным сервисным интервалом замены. Также среди особенностей некоторых составов можно выделить совместимость с двигателями, имеющими турбонаддув, интеркулер, охлаждение газов рециркуляции, управление фазами газораспределительного механизма и высотой подъема клапанов.

2.5. Охлаждающие жидкости

К группе охлаждающих жидкостей относятся низкозамерзающие, обладающие высокой теплоемкостью и теплопроводностью жидкости,

предназначенные для поглощения и отвода тепла в жидкостных системах охлаждения.

Охлаждающие жидкости выпускаются как в виде концентратов, так и в виде готовых продуктов. При эксплуатации современных автомобилей для охлаждения двигателей применяют незамерзающие жидкости, объединенные общим названием «антифризы», представляющие собой водные растворы этиленгликоля с добавлением антикоррозионных присадок. В зависимости от предполагаемых температурных условий эксплуатации для вырабатываемых охлаждающих жидкостей устанавливается значение температуры начала кристаллизации. В настоящее время минимальными предельными значениями для разных марок являются температуры: -35 , -40 и -65 °С. Выпускают три марки охлаждающей жидкости: «Тосол А», «Тосол А-40» и «Тосол А-65».

Популярной классификацией стал предложенный немецким автоцентром Volkswagen вариант.

Антифризы по этой классификации делятся на пять классов:

G11 – в основу входят силикатные присадки и этиленгликоль, которые создают на стенках рубашки охлаждения защищающую от коррозии пленку (эксплуатационный срок – 3 года);

G12 – производятся на базе этиленгликоля и органических добавок. Состав не агрессивен к алюминию, меди, другим металлам. Имеют высокую термостойкость, служат до 5 лет;

G12+ – имеют гибридную технологию органических и минеральных присадок, защищают от коррозии, ресурс пробега автомобиля – 250 000 км;

G12++ – средство изготовлено на основе этиленгликоля. Обеспечивает необходимые режимы охлаждения узлов, максимальную защиту системы;

G13 – самый совершенный класс антифриза, в составе которого вместо этиленгликоля используется пропиленгликоль. Этот компонент безопасен для окружающей среды, человека.

В состав охлаждающих жидкостей входит разный пакет антикоррозионных и противовспенивающих присадок, в основу которых могут входить фосфатные, борные, нитритные, аминные и другие химические ингибиторы. При смешивании охлаждающих жидкостей с разными присадками может возникнуть химическая несовместимость, следствием которой является выпадение геля или осадка и в целом ухудшение свойств охлаждающей жидкости. Поэтому при переходе с охлаждающей жидкости одного производителя на охлаждающую жидкость дру-

гого производителя следует полностью слить старую жидкость и промыть систему подготовленной водой.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают двигатели по виду применяемого топлива?
2. Назовите марки топлив для быстроходных дизельных и бензиновых двигателей. Какими показателями качества они характеризуются?
3. Как расшифровываются обозначения марок бензинов и дизельных топлив?
4. Что такое «самовоспламенение» дизельного топлива?
5. Что называется цетановым числом и на что оно влияет?
6. В каком интервале находится оптимальное цетановое число для дизельных двигателей?
7. В чем отличие зимних дизельных топлив от летних и почему недопустимо их использование летом?
8. Что характеризует и от чего зависит октановое число автомобильного бензина?
9. Расскажите о положительных и отрицательных свойствах газообразного топлива. Назовите марки сжатых и сжиженных газов.
10. Какие основные компоненты сжиженных газов? Достоинства и недостатки его применения.
11. Каковы особенности применения сжатых газов, как хранят сжатый газ?
12. Для чего предназначены моторные масла.
13. Как вязкость масла влияет на возможность эксплуатации двигателя?
14. Какие эксплуатационные требования предъявляются к моторным маслам?
15. В чем заключается сущность классификации моторных масел?
16. С какой целью добавляются композиции присадок в моторные масла?
17. Каковы требования, предъявляемые к охлаждающим жидкостям?
18. Назовите достоинства и недостатки воды как охлаждающей жидкости.
19. Назовите марки выпускаемых низкотемпературных охлаждающих жидкостей.
20. Назовите основные мероприятия по эффективному использованию горюче-смазочных материалов.

3. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ

Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) на такте расширения (рабочий ход) преобразует прямолинейное поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала, а на остальных тактах – вращательное движение коленчатого вала в прямолинейное возвратно-поступательное движение поршня.

Принцип этого преобразования станет понятен при подробном рассмотрении схемы сил, действующих на детали кривошипно-шатунного механизма (рис. 3.1).

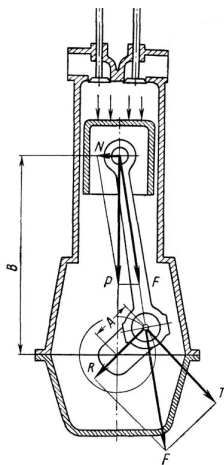


Рис. 3.1. Силы, действующие на детали КШМ на такте рабочего хода: P – сила давления газов; F – сила, действующая по оси шатуна; N – сила давления на зеркало цилиндра; T – касательная сила; R – радиальная сила; B – плечо силы N ; A – плечо силы T , равное радиусу кривошипа

Во время работы на детали механизма действуют различные силы и моменты от действия этих сил, изменяющиеся как по величине, так и по направлению. Одни из них обеспечивают работу двигателя, а другие вызывают изнашивание его деталей.

Движение поршня в цилиндре двигателя на такте «рабочий ход» осуществляется за счет давления газов, действующих на днище поршня. Результирующая этого давления – сила P приложена к центру поршневого пальца и направлена по оси цилиндра. Согласно правилу параллелограмма, сила P может быть разложена на силу F , действующую по оси шатуна, и силу N , направленную перпендикулярно стенке цилиндра. На плече B сила N создает опрокидывающий момент, который стремится «перевернуть» двигатель в сторону, обратную враще-

нию коленчатого вала. Опрокидывающий момент гасится опорами двигателя.

Силу F , перенесенную на ось шатунной шейки, можно разложить на касательную силу T , действующую перпендикулярно кривошипу коленчатого вала, и радиальную силу R , направленную по оси кривошипа. Произведение силы T на плечо A , равное радиусу кривошипа, дает крутящий момент M_k . Крутящий момент M_k вызывает вращение коленчатого вала. Сила R создает давление на коренные подшипники коленчатого вала, вызывая их износ. Сила F нагружает шатунную шейку коленчатого вала и шатунные подшипники. Сила N создает давление поршня на одну из стенок цилиндров, изнашивая ее. После перехода поршнем ВМТ поршень совершает перекадку на противоположную стенку цилиндра и сила N меняет свое направление.

Помимо сил, возникающих от давления газов, на детали кривошипно-шатунного механизма действуют силы инерции и центробежные силы от возвратно-поступательных и вращательно-движущих масс, которые ведут к износу деталей цилиндропоршневой группы, подшипников и шеек коленчатого вала.

Базовые детали КШМ (рис. 3.2) можно разделить:

- на неподвижные – блок-картер 6, цилиндры 1, головка цилиндров 5, поддон картера 8;
- подвижные – поршни, поршневые кольца и пальцы, составляющие поршневую группу 2, шатуны 3, коленчатый вал 4, маховик 7.

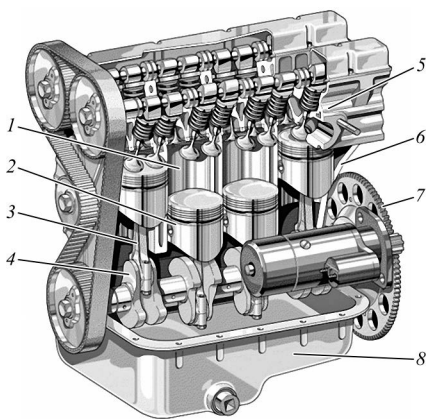


Рис. 3.2. Рядный четырехцилиндровый двигатель жидкостного охлаждения:

- 1 – цилиндр; 2 – поршневая группа;
- 3 – шатун; 4 – коленчатый вал;
- 5 – головка цилиндров; 6 – блок-картер;
- 7 – маховик; 8 – поддон картера

Кроме того, к кривошипно-шатунному механизму относятся коренные и шатунные подшипники, прокладки, крепежные детали.

Блок-картер, называемый также **блоком цилиндров** (рис. 3.3), является основной корпусной деталью двигателя, представляющей собой жесткую отливку, в которой размещаются и работают подвижные детали. К нему крепятся практически все навесные агрегаты и приборы, обеспечивающие работу двигателя. Блок-картер включает цилиндры, рубашку охлаждения и картер приводного механизма. Сверху блок закрывают головкой цилиндров, снизу – поддоном картера. Между блок-картером и головкой устанавливают уплотнительную прокладку.

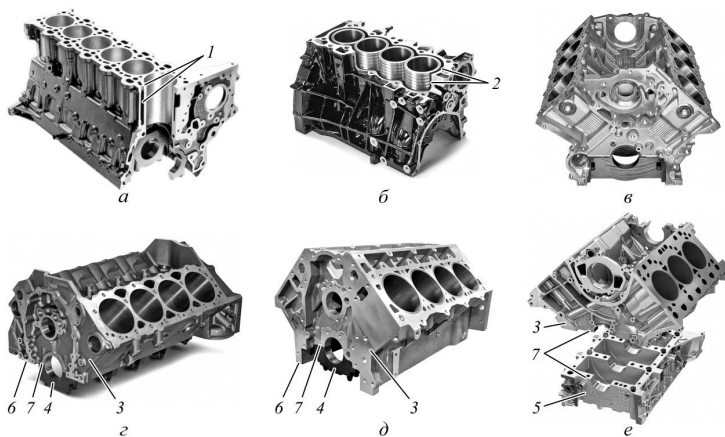


Рис. 3.3. Конструкции блоков цилиндров: *а* – рядное расположение цилиндров с закрытым исполнением рубашки охлаждения; *б* – рядное расположение цилиндров с открытым исполнением рубашки охлаждения; *в* – V-образное рядное расположение цилиндров; *г* – блок-картер с плоскостью разъема по оси коленчатого вала; *д* – блок-картер с плоскостью разъема ниже оси коленчатого вала; *е* – блок-картер с опорной плитой; 1 – закрытое исполнение рубашки охлаждения; 2 – открытое исполнение рубашки охлаждения; 3 – блок-картер; 4 – крышка коренного подшипника; 5 – опорная плита; 6 – плоскость разъема блок-картера; 7 – плоскость разъема коренного подшипника

Блок цилиндров большинства двигателей отливается из серого чугуна. Недостатком чугуна является его большой удельный вес, поэтому блок цилиндров многих современных двигателей отливается из алюминиевого сплава. Алюминиевые сплавы гораздо мягче чугуна, поэтому в стенки цилиндров вставляются чугунные гильзы. Гильзы по внут-

ренному диаметру сортируются на три размерные группы: большая (Б), средняя (С) и малая (М). Маркировка группы наносится на заходном конусе гильзы. На двигателе устанавливаются гильзы одной размерной группы. Также гильзы из износостойкого чугуна могут впаиваться в блоки, или вместо гильз алюминиевые стенки цилиндров покрывают специальным износостойким материалом.

Во время отливки в блоке цилиндров изготавливаются каналы для прохода охлаждающей жидкости, омывающей гильзы цилиндров. Система таких каналов называется *рубашкой охлаждения*.

Поддон картера 8 (см. рис. 3.2) закрывает КШМ снизу и одновременно является резервуаром для масла. Внутри поддона могут выполняться лотки и перегородки, препятствующие перемещению и взбалтыванию масла при движении трактора по неровным дорогам. В нижней точке поддона располагается бобышка с резьбовым отверстием для слива масла. Отверстие закрывается пробкой с магнитом, предназначенным для улавливания металлических продуктов износа двигателей.

Головка блока цилиндров закрывает цилиндры и образует верхнюю часть рабочей полости двигателя, в ней частично или полностью размещаются камеры сгорания. Головка цилиндров представляет собой чугунную или алюминиевую отливку, во внутренних полостях которой имеются впускные и выпускные каналы, закрываемые клапанами.

В двигателях воздушного охлаждения головки блока цилиндров и сами цилиндры делают оребренными, причем ребра располагают по движению потока охлаждающего воздуха для обеспечения более эффективного отвода теплоты.

Поршневая группа (рис. 3.4) включает в себя поршень, поршневые кольца и поршневой палец с фиксирующими деталями.

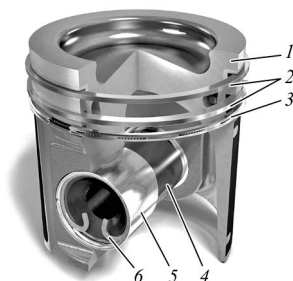


Рис. 3.4. Поршневая группа: 1 – поршень;
2 – компрессионное кольцо; 3 – маслосъемное
кольцо; 4 – палец; 5 – втулка; 6 – стопорное кольцо

Поршень передает давление газов через поршневой палец и шатун коленчатому валу двигателя.

Поршень состоит из днища 4, уплотняющей части с канавками для колец 2 и 3, бобышек 9 и юбки 6 (рис. 3.5). В канавке 2 находятся дренажные отверстия 1 диаметром 2,5–3 мм, предназначенные для отвода масла. Поршневые кольца, установленные в канавки, герметизируют камеру сгорания со стороны картера. Днище и уплотняющая часть составляют головку 5 поршня. Юбка является направляющей частью поршня. Поршневой палец вставляется в бобышки поршня. Для фиксации пальца в бобышках проточены канавки под стопорные кольца 7.

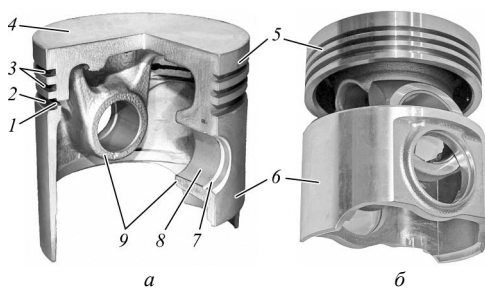


Рис. 3.5. Поршень: *а* – цельный; *б* – составной; 1 – отверстия для слива масла; 2 – канавка под маслосъемное кольцо; 3 – канавка под компрессионное кольцо; 4 – днище; 5 – головка; 6 – юбка; 7 – канавка под стопорное кольцо; 8 – отверстие под поршневой палец; 9 – бобышка

В двигателях внутреннего сгорания применяется два типа поршней – цельные и составные.

Днища поршней изготавливают плоскими, выпуклыми, вогнутыми и фигурными. В зависимости от конструкции двигателя, формы его камеры сгорания, расположения клапанов днище и другие части поршня могут иметь различную форму (рис. 3.6).

В днище поршня дизелей имеется выемка – часть камеры сгорания (рис. 3.6, *д*, *е*). Форма выемки способствует лучшему перемешиванию воздуха с поступающим в цилиндр топливом и более полному его сгоранию. Днище поршня двухтактных двигателей для лучшей продувки цилиндров выпуклое.

Конструкция поршня должна обеспечивать такой зазор между поршнем и цилиндром, который исключал бы стуки поршня после запуска двигателя и заклинивание его в результате теплового расширения.

ния при работе двигателя под нагрузкой. Поэтому головка поршня имеет диаметр меньше, чем юбка.



Рис. 3.6. Форма днища поршней: *а* – с вытеснителем и выемками для клапанов; *б* – с плоским днищем и выемками для клапанов; *в* – с углубленным днищем; *г* – с плоским днищем; *д* – с трапециевидной камерой сгорания; *е* – с тороидальной камерой сгорания

Поршневые кольца необходимы для герметизации камеры сгорания, отвода тепла от поршня к стенке цилиндра и ограничения расхода масла. Поршневые кольца делятся на два типа: компрессионные 2 и маслосъемные 3 (см. рис. 3.4). Компрессионные кольца (рис. 3.7) обеспечивают необходимую герметичность, а маслосъемные (рис. 3.8) регулируют количество масла на стенках цилиндра, поскольку полное или слишком большое удаление масла приведет к масляному голоданию соединения поршня со стенками цилиндра в верхней части поршня и последующему заклиниванию поршня в цилиндре.

Большинство поршней двигателей имеют по три кольца: два компрессионных и одно маслосъемное.

Основной функцией *компрессионных колец* является поддержание рабочего давления в камере сгорания. В поперечном сечении компрес-

сионные кольца обычно имеют прямоугольную, коническую или трапецевидную форму.

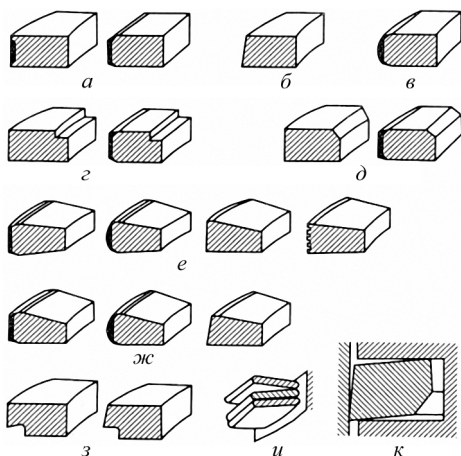


Рис. 3.7. Поршневые компрессионные кольца: *а* – прямоугольные; *б* – коническое; *в* – бочкообразное; *г, д* – прямоугольные с внутренней выточкой; *е* – трапецевидные симметричные; *жс* – трапецевидные несимметричные; *з* – скребковые; *и* – стальное витое; *к* – торсионное с обратным закручиванием

Компрессионные кольца допускается устанавливать только в одном положении. На верхней поверхности компрессионного поршневого кольца ставится метка «Т», «ТОР» или другие. Кольцо всегда устанавливается этой меткой вверх. Для того чтобы обеспечить максимальный уровень герметичности, их разрезы разворачивают таким образом, чтобы они приходились не друг над другом, а располагались под углом 120° .

Маслосъемные кольца при работе снимают излишек масла с поверхности цилиндра. Конструкция колец рассчитана таким образом, чтобы при работе не лишать цилиндр смазки полностью, а оставлять ее тончайший слой, достаточный для нормальной работы двигателя. Маслосъемные кольца отличаются большим разнообразием конструкций (рис. 3.8).

Наибольшее распространение получили кольца коробчатого типа (рис. 3.8, *а, в, г*) и составные (рис. 3.8, *б, д, е*). Для повышения давления на стенки цилиндров колец коробчатого типа применяются пружинные 1 или радиальные 3 расширители. Для составных колец скребкового типа используются радиальные расширители, а для колец, состоящих из двух плоских пластин, – тангенциальные расширители 4 или комплекты из двух расширителей – осевого 2 и радиального 3.

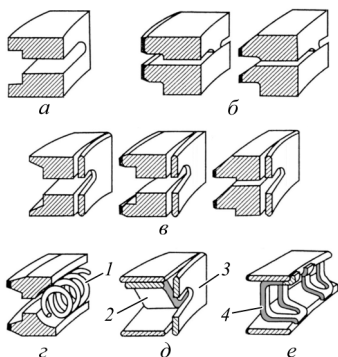


Рис. 3.8. Поршневые маслосъемные кольца:
a – коробчатого типа без расширителя;
б – составные из двух скребковых колец;
в – коробчатого типа с радиальным расширителем; *г* – коробчатого типа с витым пружинным расширителем; *д* – составные с радиальным и осевым расширителем;
е – составные с тангенциальным расширителем;
 1 – пружинный расширитель; 2 – осевой расширитель; 3 – радиальный расширитель;
 4 – тангенциальный расширитель

Поршневой палец является осью качания шатуна в соединении с поршнем. Через поршневой палец передаются все силы, возникающие между поршнем и шатуном.

В основном в двигателях применяют пальцы плавающего типа. Плавающим называется палец, установленный с необходимым зазором и в верхней головке шатуна, и в бобышках поршня. В этом случае осевая фиксация поршневого пальца осуществляется за счет стопорных колец 6 (см. рис. 3.4), устанавливаемых в специальные канавки в бобышках поршня.

Во время работы плавающий палец вращается и в головке шатуна, и в бобышках поршня. В двигателе с плавающим поршневым пальцем для уменьшения трения в поршковую головку шатуна устанавливается бронзовая втулка.

При комнатной температуре палец во втулку верхней головки шатуна должен входить плотно без люфта и качания, а в бобышки поршня – с небольшим натягом. Поэтому перед снятием или установкой плавающего пальца поршень необходимо нагреть в воде до температуры 60–85 °С. Во время работы двигателя поршень и палец нагреваются, и из-за разности температурных коэффициентов расширения стального пальца и алюминиевого поршня зазор между этими деталями приобретает необходимое значение.

Шатун соединяет поршень двигателя с коленчатым валом и во время работы двигателя передает все усилия от поршня на коленчатый вал и, наоборот, от коленчатого вала к поршню. При этом шатун совершает достаточно сложное движение. Верхняя головка шатуна совместно с поршнем совершает возвратно-поступательное движение, а

нижняя головка шатуна совместно с шатунной шейкой коленчатого вала – круговое движение. Основными элементами шатуна (рис. 3.9) являются стержень 3, верхняя 2 и нижняя 7 головки.

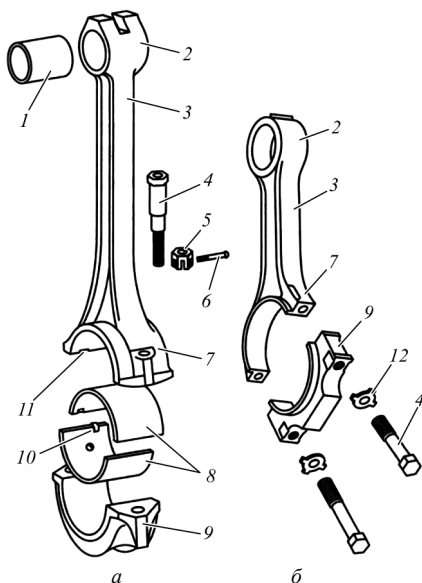


Рис. 3.9. Конструкция шатунов:
а – шатун с прямым разъемом; *б* – шатун с косым разъемом; 1 – втулка поршневого пальца; 2 – верхняя головка шатуна; 3 – стержень; 4 – шатунный болт; 5 – гайка; 6 – шплинт; 7 – нижняя головка шатуна; 8 – вкладыши шатунного подшипника; 9 – крышка; 10 – усик вкладыша; 11 – паз нижней головки шатуна; 12 – замковая шайба

Если поршневой палец плавающего типа, то в верхнюю головку шатуна может запрессовываться бронзовая или биметаллическая втулка 1, изготовленная из стали, с залитым во втулку тонким слоем бронзы. Для смазывания такого пальца в верхней головке шатуна может быть сделано отверстие, через которое масло из внутренней полости поршня подается к пальцу.

Нижняя головка шатуна служит для соединения его с шатунной шейкой коленчатого вала. Для возможности сборки с валом нижнюю головку шатуна делают разъемной. У некоторых двигателей в стенке верхней головки шатуна сверлят специальное отверстие для впрыска масла на стенки цилиндра.

Крышку 9 крепят к шатуну двумя шатунными болтами 4. В нижнюю головку шатуна вставляются тонкостенные *вкладыши* подшипников скольжения. Аналогичные вкладыши, отличающиеся лишь размером, используются для коренных шеек коленчатого вала.

Чтобы правильно собрать шатун с поршнем и установить его в двигателе в нужном положении, на шатуне делают соответствующие метки. На нижней головке шатуна и на крышке обычно выбивают порядковый номер шатуна.

Коленчатый вал (рис. 3.10) предназначен для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение.

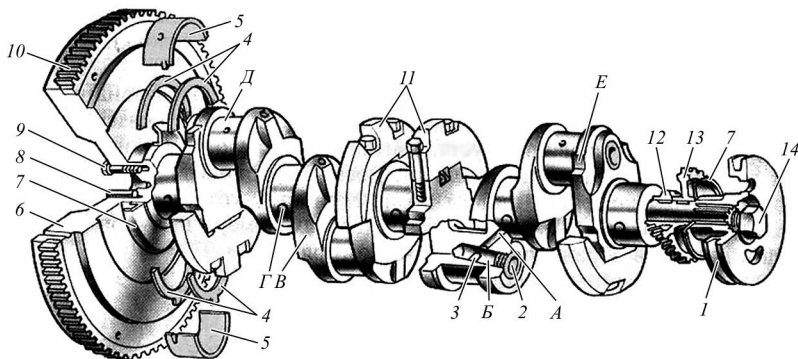


Рис. 3.10. Коленчатый вал двигателя Д-245 с сопряженными деталями:

A – канал подвода масла; *B* – полость центробежной очистки масла;
B – щеки кривошипа; *Г* – коренные шейки коленчатого вала; *Д* – шатунные шейки коленчатого вала; *Е* – галтель; 1 – шкив; 2 – пробка; 3 – трубка; 4 – упорные полукольца; 5 – вкладыш коренного подшипника; 6 – маховик; 7 – маслоотражатель; 8 – установочный штифт; 9 – болт крепления маховика; 10 – зубчатый венец; 11 – противовесы; 12 – шестерня коленчатого вала; 13 – ведущая шестерня привода масляного насоса; 14 – болт для проворачивания вала

Коленчатый вал состоит из коренных *Г* и шатунных *Д* шеек, соединенных щеками *В*, к которым крепятся противовесы 11 (могут быть отлитыми как одно целое с валом). Шейки подшипников, в которых коленчатый вал вращается в блоке цилиндров, называются коренными, шейки подшипников, вращающиеся внутри нижней головки шатуна, – шатунными. В большинстве случаев применяют полноопорные коленчатые валы, т. е. каждая шатунная шейка расположена между коренными.

На передний конец вала устанавливаются шестерня привода газораспределения (шестерня коленчатого вала) 12, шестерня привода масляного насоса 13, шкив 1 привода водяного насоса и генератора. На заднем конце вала имеется маслоотражательный гребень 7, мас-

лосгонная резьба и фланец для крепления маховика. В торце имеется отверстие под подшипник для опоры ведущего вала коробки передач. В коренных шейках для масляных каналов выполнены отверстия под углом к пустотелым шатунным шейкам *Б*, где масло дополнительно очищается под действием центробежных сил.

Коренные подшипники коленчатого вала обеспечивают плавное вращение последнего в постелях. Подшипники и шейки коленчатого вала смазываются маслом, которое подается через отверстия в коленчатом валу и подшипниках.

Маховик служит для обеспечения равномерного вращения коленчатого вала, вывода деталей кривошипного механизма из мертвых точек, накопления во время такта расширения кинетической энергии, необходимой для вращения коленчатого вала в период между вспышками в отдельных цилиндрах, облегчения пуска двигателя и плавного трогания с места.

Маховик представляет собой массивный чугунный диск, тщательно сбалансированный, на обод которого напрессован зубчатый венец, при помощи которого производится запуск двигателя от стартера. На маховике также монтируется муфта сцепления.

У большинства двигателей на маховик нанесены метки, по которым можно определить мертвые точки, а также метки для установки момента подачи топлива. На поверхности маховика ряда двигателей выполняются радиальные отверстия, посредством которых проворачивают коленчатый вал вручную при регулировке двигателя.

Маховик центрируется по фланцу коленчатого вала и крепится к нему при помощи болтов. Для сохранения его первоначальной балансировки предусмотрены установочные штифты или несимметрично расположенные болты.

Картер маховика крепится к задней стенке блок-картера болтами и представляет собой фасонную отливку из серого чугуна или сплава алюминия. Правильная установка картера маховика обеспечивается установочными штифтами.

Подвеска двигателя. При работе двигатель находится под воздействием неуравновешенных сил инерции, моментов этих сил и реактивных моментов при торможении или разгоне автомобиля или трактора.

Для защиты рамы или несущего кузова от вибрации применяют упругую подвеску силового агрегата. Упругие элементы подвески двигателей выполняются в виде массивных резиновых втулок или башмаков, привулканизированных к каркасу. Для ограничения продольных

перемещений двигателя каркасные детали упругих элементов ориентируют таким образом, чтобы в направлении действия продольных сил резиновый вкладыш имел наибольшую жесткость, или применяют специальные тяги, которые связывают двигатель с рамой.

Прокладки и сальники. Прокладки – это уплотнительный материал, зажимаемый между двумя сопрягаемыми деталями, предотвращающий утечку через это соединение жидкостей и газов.

Прокладка головки цилиндров уплотняет стык головки и блока цилиндров и предотвращает утечку давления из камер сгорания. К прокладкам головок цилиндров предъявляется такое требование, как стойкость к воздействию высоких температур и детонации. Их конструкция обеспечивает быстрый отвод тепла от двигателя к охлаждающей жидкости. Прокладка головки цилиндров уплотняет также масляные каналы и направляет поток охлаждающей жидкости между блоком цилиндров и головкой блока.

Для уплотнения вращающихся деталей применяются сальники. Наиболее распространены кромочные сальники, представляющие собой резиновые кольца, которые прижимаются к уплотняемому валу цилиндрической винтовой пружиной, называемой пружинными кольцом. При капремонте узлов и механизмов сальники заменяют новыми.

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и принцип работы КШМ.
 2. Какие детали КШМ относятся к неподвижной группе?
 3. Какие детали КШМ относятся к подвижной группе?
 4. Краткое конструктивное описание элементов, входящих в КШМ.
 5. Для чего предназначен и как устроен шатун?
 6. Для чего предназначен и как устроен коленчатый вал ДВС?
- На какой угол поворачивается коленчатый вал за один такт?
7. Для чего предназначен и как устроен блок цилиндров?
 8. Для чего предназначена и как устроена головка цилиндров?
 9. Перечислите основные части поршня. С какой целью в головке поршня со стороны днища выполняют различной формы углубления?
 10. Что является направляющей для поршня при его перемещениях в двигателе?
 11. Каково назначение поршневых колец?
 12. Какие силы действуют в КШМ одноцилиндрового двигателя?
 13. Назначение маховика двигателя.

4. ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

Газораспределительный механизм (ГРМ) служит для наполнения цилиндров двигателя горючей смесью или воздухом и выпуска из них отработавших газов.

В четырехтактных двигателях применяют клапанные механизмы газораспределения, клапаны которых открывают и закрывают впускные и выпускные отверстия.

Для обозначения расположения клапанов и распределительных валов (рис. 4.1) приняты следующие сокращения:

- OHV (overheadvalve) – верхнее расположение клапанов;
- ОНС (overheadcamshaft) – верхнее расположение распределительного вала;
- ДОНС (doubleoverheadcamshaft) – два верхних распределительных вала.

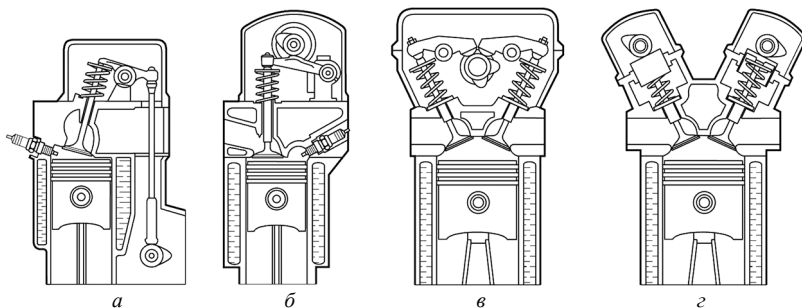


Рис. 4.1. Схемы привода клапанов: *а* – привод клапанов с помощью штанги и коромысла при нижнем расположении распределительного вала; *б* – привод клапанов с помощью рычага при верхнем расположении распределительного вала; *в* – привод клапанов двумя коромыслами от одного распределительного вала; *г* – привод клапанов двумя распределительными валами

По схеме привода клапанов различают следующие типы ГРМ:

- привод клапанов с помощью штанги и коромысла при нижнем расположении распределительного вала (двигатели OHV, рис.4.1, *а*);
- привод клапанов с помощью рычага при верхнем расположении распределительного вала (двигатели OHV/ОНС, рис. 4.1, *б*);
- привод клапанов двумя коромыслами от одного распределительного вала (двигатели OHV/ОНС, рис. 4.1, *в*);

- привод клапанов двумя распределительными валами (двигатели OHV/DOHC, рис. 4.1, з).

По числу клапанов, приходящихся на один цилиндр двигателя, следует различать газораспределительные системы классической конструкции с двумя клапанами на цилиндр и многоклапанные системы с тремя – шестью клапанами на цилиндр. Для привода многоклапанных систем используются схемы DOHC (см. рис. 4.1, з).

Современные двигатели обычно имеют газораспределительные механизмы с верхним расположением клапанов (рис. 4.2), так как в этом случае камера сгорания получается компактной, улучшается наполнение цилиндров, упрощается регулировка клапанов и значительно уменьшаются потери теплоты с охлаждающей жидкостью.

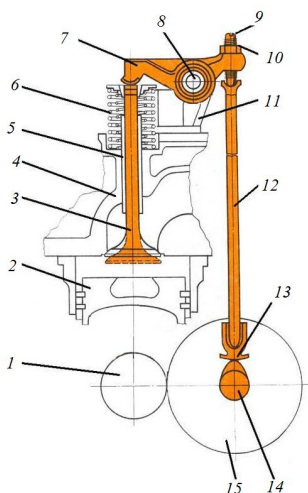


Рис. 4.2. Схема газораспределительного механизма с верхним расположением клапанов:

- 1, 15 – шестерни привода ГРМ; 2 – поршень;
- 3 – клапан; 4 – головка цилиндров;
- 5 – направляющая втулка; 6 – пружина;
- 7 – коромысло; 8 – ось коромысел;
- 9 – регулировочный винт; 10 – контргайка;
- 11 – стойка оси коромысел; 12 – штанга;
- 13 – толкатель; 14 – распределительный вал

Механизм газораспределения с верхним расположением клапанов, применяемый в дизелях, работает следующим образом.

Коленчатый вал приводит во вращение через шестерни 1 и 15 распределительный вал 14. При повороте распределительного вала его кулачок своим выступом поднимает толкатель 13, а вместе с ним – и штангу 12, которая упирается нижним концом в дно толкателя, а верхним – в регулировочный винт 9 коромысла. Коромысло 7, установленное на оси 8, поворачивается вокруг нее и отжимает клапан 3 вниз.

Открывается отверстие канала в головке цилиндров, а пружины 6, предварительно сжатые (чтобы удержать клапан в закрытом положении), сжимаются дополнительно. Стержень клапана движется в направляющей втулке 5.

Клапан открыт полностью, когда толкатель находится на вершине кулачка. При дальнейшем повороте распределительного вала толкатель начинает опускаться, а клапан под действием пружин 6 движется вверх. Когда выступ кулачка выходит из-под толкателя, давление на клапан прекращается, и он под действием пружин плотно закрывает седло клапана в головке цилиндра.

При обратном движении клапана коромысло, штанга и толкатель перемещаются в первоначальное положение.

К конструктивным особенностям ГРМ форсированных двигателей можно отнести: верхнее расположение клапанов и распределительного вала; ременный привод распределительного вала; отсутствие толкателей, штанг и коромысел; наличие гидрокомпенсаторов и четырех клапанов на один цилиндр.

Клапаны (рис. 4.3) состоят из тарелки и стержня. Переход от тарелки к стержню сделан плавным, что обеспечивает клапану необходимую прочность и улучшает отвод тепла от тарелки.

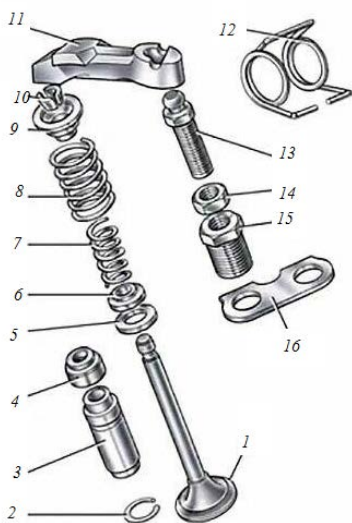


Рис. 4.3. Детали клапанной группы и привода клапанов: 1 – клапан; 2 – стопорное кольцо направляющей втулки; 3 – направляющая втулка; 4 – сальник клапана; 5, 6 – опорные шайбы внутренней и внешней пружины; 7, 8 – внутренняя и внешняя возвратные пружины; 9 – тарелка пружины; 10 – сухари; 11 – рычаг привода клапана; 12 – пружина рычага; 13 – упорный винт; 14 – контргайка упорного винта; 15 – втулка упорного винта; 16 – стопорная пластина пружины рычага

Чтобы плотно закрыть отверстие в головке цилиндров, тарелка имеет конусный поясok (фаску). Такую же фаску имеет седло клапана в головке цилиндров. У большинства двигателей эти фаски сняты под углом 45° . Плотность прилегания фасок клапана и седла достигается шлифовкой, а затем притиркой друг к другу.

Стержень клапана шлифованный. В верхней части стержня устанавливают разрезанное на две половины коническое кольцо (сухари) 10, выступ которого входит в выточку стержня клапана. Сухари крепят опорную шайбу на стержне клапана.

У некоторых двигателей под выточкой на стержне сделана вторая выточка, в которую вставляют предохранительное кольцо. Оно предотвращает падение клапана в цилиндр в случае его обрыва или выскакивания сухариков (рассухаривания).

На тарелке клапана предусмотрена прорезь под отвертку (или отверстия под специальный инструмент) для притирки клапанов.

Для лучшего наполнения цилиндра у некоторых двигателей диаметр тарелки впускного клапана больше диаметра тарелки выпускного клапана.

Через направляющую втулку 3 проходит стержень клапана. Втулка может иметь посадочный поясok для установки сальника клапана (маслосъемного колпачка), уплотняющего стержень клапана и предотвращающего попадание излишка масла по стержню клапана в камеру сгорания. При этом для улучшения смазки стержня клапана по внутренней поверхности направляющей втулки выполняют спиральную канавку (резьбу) с шагом 2–3 мм, в которой удерживается масло. Зазор между стержнем клапана и втулкой регламентируется изготовителем и для большинства двигателей устанавливается в пределах 0,04–0,08 мм у впускных клапанов и 0,06...0,12 мм – у выпускных.

Пружины клапанов 7 и 8 (см. рис. 4.3) возвращают клапан на седло после снятия с него нагрузки от кулачка распределительного вала, удерживают клапан в закрытом положении, обеспечивая его плотную посадку в седле, и предотвращают разрыв кинематической связи между передаточными деталями и клапаном. На один клапан устанавливается одна или две пружины (внутренняя малая и наружная большая). Витки большой и малой пружин имеют противоположную навивку. Пружина надевается на стержень клапана и закрепляется на его конце через опорную тарелку 9 с помощью разрезных конических сухарей 10.

Толкатель (рис. 4.4) представляет собой цилиндрический стержень, нижняя часть которого воспринимает усилие кулачка распределительного вала.

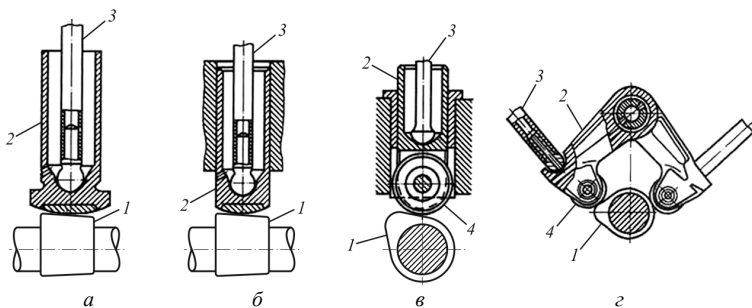


Рис. 4.4. Типы толкателей: *а* – грибовидный; *б* – цилиндрический; *в* – цилиндрический роликовый; *г* – рычажный роликовый; 1 – кулачок распределительного вала; 2 – толкатель; 3 – штанга; 4 – ролик

Для уменьшения массы толкатели часто делают пустотелыми. Толкатели предназначены для передачи усилия от распределительного вала через штанги к коромыслам. Толкатели перемещаются в направляющих втулках из антифрикционного чугуна или непосредственно в отверстиях блок-картера.

Для более равномерного износа опорной и направляющей (цилиндрической) поверхностей толкатель одновременно с прямолинейным совершает и вращательное движение вокруг своей оси.

В двигателях ЗИЛ-508, ЗМЗ-511, КамАЗ-740, Д-245 применяют цилиндрические толкатели, установленные в специальных отверстиях – направляющих. В дизеле КамАЗ-740 применяют съемные направляющие. Внутренняя полость толкателя имеет сферическую поверхность под штангу и отверстие для слива масла.

Штанги. Для передачи усилия от толкателей к коромыслам служат штанги 12 (см. рис. 4.2). На концах штанг напрессовывают стальные сферические наконечники, которыми они с одной стороны упираются в сферические поверхности регулировочных винтов 9, ввернутых в коромысла 7, а с другой – в толкатели.

Коромысла. Для передачи усилия от штанги к клапану служит коромысло (рис. 4.5), представляющее собой неравноплечий рычаг.

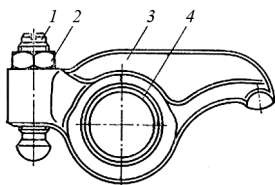


Рис. 4.5. Коромысло ГРМ в сборе: 1 – регулировочный винт; 2 – контргайка; 3 – коромысло; 4 – втулка

Наличие длинного плеча коромысла (примерно в 1,5 раза больше короткого плеча) не только уменьшает ход толкателя и штанги, но и снижает силы инерции, что способствует повышению долговечности деталей привода клапанов. Коромысла обычно располагают на общей полой оси 8 (см. рис. 4.2), в конце которой запрессованы заглушки, что позволяет подводить масло к бронзовым втулкам коромысел и сферическим наконечникам регулировочных винтов 8. Ось 8 в сборе с коромыслами устанавливают на головке цилиндра с помощью стоек 11.

Распределительный вал (рис. 4.6) предназначен для своевременного открытия и закрытия клапанов в определенной последовательности, кулачки и опорные шейки распределительного вала отлиты заодно с ним.

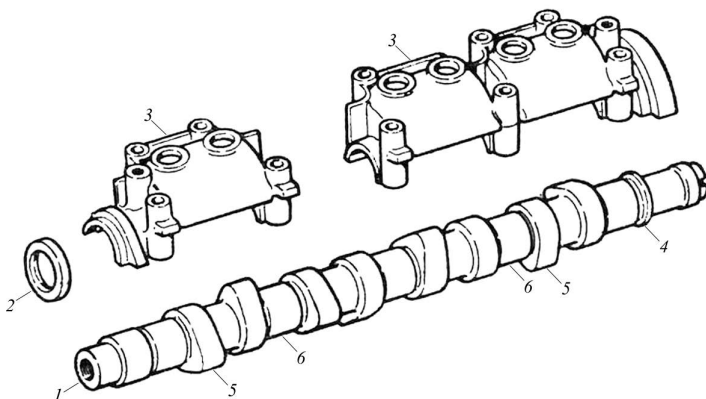


Рис. 4.6. Распределительный вал и крышки подшипников распределительного вала:

1 – распределительный вал; 2 – сальник; 3 – крышка подшипников;
4 – эксцентрик привода топливного насоса; 5 – кулачки; 6 – опорные шейки

Вал классической конструкции *кулачкового типа* имеет кулачки 5 управления впускными и выпускными клапанами и опорные шейки 6.

На валу может располагаться шестеренка привода масляного насоса и распределителя зажигания и эксцентрик привода топливного насоса карбюраторных двигателей.

Опорными шейками вал устанавливается в опорах (подшипниках скольжения) и закрепляется крышками. Опоры и крышки опор могут быть объединены между собой в *корпус подшипников распределительного вала*. От осевого перемещения распределительный вал удерживается упорным подшипником. Смазка опор осуществляется под давлением. Масло в подшипник поступает по каналам, выполненным в опорах и (или) в самом валу. Кулачки смазываются принудительно (под давлением) или разбрызгиванием.

Распределительный вал приводится в движение от коленчатого вала двигателя зубчатой передачей (шестернями), цепью или зубчатым ремнем. Если распределительный вал находится в головке блока цилиндров, то он приводится во вращение от коленчатого вала двигателя с помощью цепи или зубчатого ремня (рис. 4.7).

Распределительные шестерни необходимы для передачи вращения от коленчатого вала распределительному валу, масляному насосу и другим агрегатам двигателя (рис. 4.7, а, б). Распределительные шестерни располагаются в специальном картере в передней или задней части двигателя. Для уменьшения уровня шумов шестерни выполняют косозубыми.

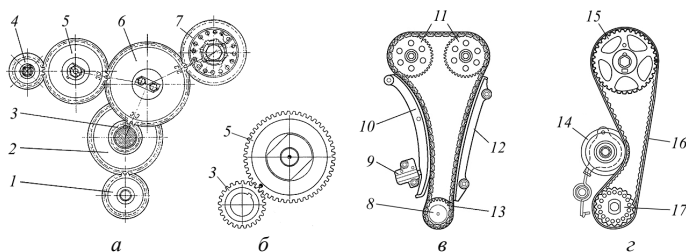


Рис. 4.7. Типы привода распределительного вала: а – зубчатый дизельного двигателя; б – зубчатый бензинового двигателя; в – цепной; г – ременный; 1 – ведомая шестерня привода масляного насоса; 2 – ведущая шестерня привода масляного насоса; 3 – шестерня коленчатого вала; 4 – шестерня привода масляного насоса гидроусилителя руля; 5 – шестерня распределительного вала; 6 – промежуточная шестерня; 7 – шестерня привода топливного насоса; 8 – звездочка коленчатого вала; 9 – натяжитель цепи; 10 – башмак натяжителя; 11 – звездочка распределительного вала; 12 – успокоитель; 13 – цепь; 14 – натяжной ролик; 15 – шкив распределительного вала; 16 – зубчатый ремень; 17 – шкив коленчатого вала

Так как клапаны открываются один раз за два оборота коленчатого вала, шестерня распределительного вала имеет в 2 раза больше зубьев, чем шестерня коленчатого вала. Аналогичное соотношение числа зубьев имеется у звездочек цепной и шкивов ременной передач.

Зубчатые колеса привода должны входить в зацепление между собой при строго определенном положении коленчатого и распределительного валов, что обеспечивает правильность заданных фаз газораспределения и порядка работы двигателя. Поэтому при сборке двигателя зубчатые колеса вводятся в зацепление по меткам на их зубьях (на впадине между зубьями колеса и на зубе шестерни).

При рассмотрении рабочих процессов ДВС в первом приближении было принято, что открытие и закрытие клапанов происходят при положении поршней в мертвых точках. Однако время, приходящееся на такты впуска и выпуска, очень мало, и при максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя оно составляет тысячные доли секунды. Поэтому если открытие и закрытие клапанов будут происходить точно в мертвых точках, то наполнение цилиндров горючей смесью и очистка их от продуктов сгорания будут недостаточными. В связи с этим моменты открытия и закрытия клапанов в четырехтактных двигателях происходят с определенным опережением или запаздыванием относительно положения поршней в ВМТ и НМТ.

Периоды от момента открытия до момента закрытия клапанов, выраженные в градусах поворота коленчатого вала, называются *фазами газораспределения*, а их графическое изображение – *диаграмма фаз газораспределения* (рис. 4.8).

Выпускной клапан всегда открывается со значительным опережением, т. е. прежде чем кривошип во время рабочего хода дойдет до крайнего нижнего положения. Опережение открытия этого клапана ($44\text{--}56^\circ$ окружности) позволяет продуктам сгорания выходить из цилиндра до того, как поршень начнет подниматься. Это предохраняет двигатель от перегрева и уменьшает потерю мощности, затрачиваемой на совершение такта выпуска. Чтобы лучше очистить цилиндр от отработавших газов, выпускной клапан закрывается с небольшим запаздыванием, т. е. после того как кривошип отойдет от верхнего крайнего положения ($13\text{--}27^\circ$).

Впускной клапан открывается с небольшим опережением. В этом случае впускной и выпускной клапаны в течение короткого времени одновременно открыты (перекрывание клапанов). Опережение открытия впускного клапана ($9\text{--}24^\circ$) обеспечивает его наибольший подъем к мо-

менту поступления горючей смеси в цилиндр и лучшее наполнение цилиндра. Закрывается впускной клапан всегда со значительным запаздыванием ($46\text{--}64^\circ$) для того, чтобы увеличить наполнение цилиндра горючей смесью за счет ее инерции и небольшого разрежения в цилиндре, когда поршень находится около мертвой точки.

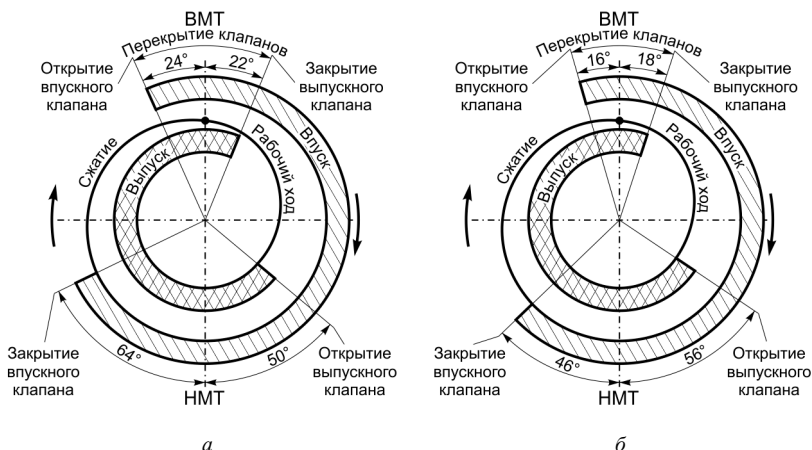


Рис. 4.8. Диаграмма фаз газораспределения:
а – бензинового двигателя 3М3-511; б – дизеля Д-245

Для правильной установки фаз газораспределения шестерни привода имеют метки, в соответствии с которыми соединяют шестерни распределительного механизма при сборке двигателя.

По мере разогрева двигателя в процессе его работы наблюдается различная тепловая деформация блока, головки цилиндров и клапанного привода. В результате этого может не обеспечиваться плотная посадка клапана в седле, что отрицательно повлияет на выходные показатели двигателя и техническое состояние клапана. Для нормальной работы двигателя между деталями клапанного привода в холодном состоянии предусматривается тепловой зазор, значение которого зависит от температурного режима работы двигателя, конструкции ГРМ и материалов деталей привода и двигателя. Для каждого конкретного двигателя тепловые зазоры устанавливают исходя из опытных данных.

Когда зазор увеличен, клапаны открываются не полностью, в результате чего ухудшаются наполнение цилиндров свежим зарядом и

очистка их от продуктов сгорания, а также возникают ударные нагрузки на детали клапанного механизма. При недостаточном зазоре клапаны неплотно садятся в седла (полностью не закрываются), вследствие чего происходит утечка газов, образование нагара с обгоранием рабочих поверхностей седла и клапана.

Тепловые зазоры и порядок их регулировки указаны в инструкциях по эксплуатации машин. У всех двигателей для впускных и выпускных клапанов на холодном двигателе зазоры между коромыслом и клапаном должны быть в пределах 0,25–0,3 мм.

Зазоры в клапанном механизме регулируют на холодном двигателе регулировочным винтом с контргайкой, ввернутым в короткое плечо коромысла. Для этого между бойком коромысла и стержнем клапана помещают щуп (тонкую стальную пластину) толщиной в требуемый зазор. Ослабляют контргайку. Вращая отверткой винт, зажимают щуп, пока не возникнет усилие при его протягивании. Удерживая положение винта отверткой, зажимают контргайку. Затем эти операции повторяют в соответствии с порядком работы цилиндров.

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и принцип работы ГРМ.
2. По каким признакам классифицируются ГРМ?
3. Особенности ГРМ с верхним расположением распределительного вала.
4. Какова частота вращения распределительного вала в сравнении с коленчатым валом на четырехтактном ДВС?
5. Краткое конструктивное описание элементов, входящих в ГРМ.
6. Что называется фазами газораспределения?
7. Почему впускной клапан выполняется бóльшим по диаметру тарелки, чем выпускной?
8. Для чего нужен зазор между толкателем и стержнем клапана?
9. Как определить положение клапана при регулировке теплового зазора?
10. Что означает термин «перекрытие клапанов»?
11. Каково основное назначение пружины клапана?
12. Как крепится тарелка пружины клапана к стержню клапана?
13. Какие детали ГРМ заставляют клапана открываться и закрываться?
14. Назначение и типы толкателей ГРМ.

5. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ

Сгорание топливовоздушной смеси сопровождается выделением значительного количества теплоты. Функции регулируемого принудительного отвода теплоты выполняет система охлаждения, которая должна обеспечивать:

- автоматическое поддержание оптимального теплового режима независимо от режима работы двигателя и внешних условий;
- быстрый прогрев двигателя до рабочей температуры;
- длительное сохранение теплоты после остановки двигателя;
- малые энергетические затраты, связанные с приводом агрегатов системы охлаждения.

Охлаждение двигателя не должно быть чрезмерным, так как теряется полезная теплота, поэтому при переохлаждении двигателя:

- нарушается требуемый состав горючей смеси из-за неполного испарения топлива;
- увеличиваются тепловые потери, вследствие чего снижается мощность и ухудшается экономичность двигателя;
- увеличивается износ двигателя вследствие коррозии и повышения трения из-за смывания масляного слоя со стенок цилиндров каплями неиспарившегося топлива;
- увеличивается отложение липких осадков, выделяющихся из масла в картере двигателя, в масляном фильтре и маслопроводах.

В случае перегрева двигателя:

- уменьшается массовое наполнение цилиндров горючей смесью вследствие увеличения объема смеси при нагревании;
- может возникнуть детонация и самовоспламенение смеси;
- могут заклиниваться поршни в цилиндрах в результате увеличения коэффициента трения из-за расширения поршней и ухудшения смазки;
- уменьшается вязкость масла.

На современных тракторах и автомобилях система охлаждения, помимо основной функции, выполняет ряд других функций:

- нагрев воздуха в системе отопления, вентиляции и кондиционирования;
- охлаждение масла в системе смазки;
- охлаждение отработавших газов в системе рециркуляции отработавших газов;
- охлаждение воздуха в системе турбонаддува;
- охлаждение рабочей жидкости в автоматической коробке передач.

В двигателях внутреннего сгорания применяется два способа охлаждения – воздушное и жидкостное.

В воздушной системе охлаждения тепло от деталей двигателя передается обдуваемому их воздуху, который циркулирует в воздушной рубашке охлаждения. Рубашку охлаждения образуют ребра охлаждения цилиндров и кожух, внутрь которого эти цилиндры помещаются. Воздух через кожух прокачивается вентилятором с ременным приводом от коленчатого вала двигателя или приводом от электродвигателя. Количество воздуха на входе в рубашку охлаждения регулируется заслонками, управляемыми водителем вручную или автоматически, с помощью термостатов или иных специальных приспособлений. Воздушная система охлаждения имеет следующие преимущества: простота конструкции и обслуживания, меньшая масса двигателя, пониженные требования к температурным колебаниям окружающей среды. Недостатками двигателей с воздушным охлаждением являются большая потеря мощности на приводе охлаждающего вентилятора, шумная работа, чрезмерная тепловая нагрузка на отдельные узлы, отсутствие конструктивной возможности организации цилиндров по блочному принципу, сложности с последующим использованием отводимого тепла, в частности для обогрева салона.

Жидкостная система охлаждения, в зависимости от способа циркуляции охлаждающей жидкости, бывает термосифонная и принудительная. В качестве охлаждающей жидкости в системе используется вода или антифриз. В термосифонной системе циркуляция охлаждающей жидкости происходит за счет разности плотностей нагретой и холодной жидкости. Основным достоинством данной системы является простота конструкции, а недостатком – медленная циркуляция жидкости, что приводит к повышенному нагреву и испарению жидкости из системы. Данные системы в основном используются для охлаждения пусковых двигателей. На автотракторных двигателях наибольшее распространение получила жидкостная система охлаждения принудительного типа. Данная система обеспечивает равномерное и эффективное охлаждение, а также имеет меньший уровень шума.

Конструкции системы охлаждения бензинового и дизельного двигателей подобны. Система охлаждения бензинового двигателя (рис. 5.1) состоит из рубашки охлаждения в блоке цилиндров 11 и головке цилиндров 3, жидкостного насоса 10 с электромагнитной муфтой в сборе, термостата 5, радиатора 7, расширительного бачка 4, пробок 8

и 12 слива охлаждающей жидкости, радиатора отопителя кабины 1, крана отопителя 2, датчика температуры охлаждающей жидкости 6.

Насос подает жидкость в рубашку охлаждения блока цилиндров, откуда жидкость поступает в рубашку головки цилиндров и далее в корпус термостата. Термостат автоматически регулирует подачу охлаждающей жидкости в радиатор в зависимости от температуры. Через штуцер крышки термостата в расширительный бачок отводится воздух при заполнении системы и возникающий в системе охлаждения пар.

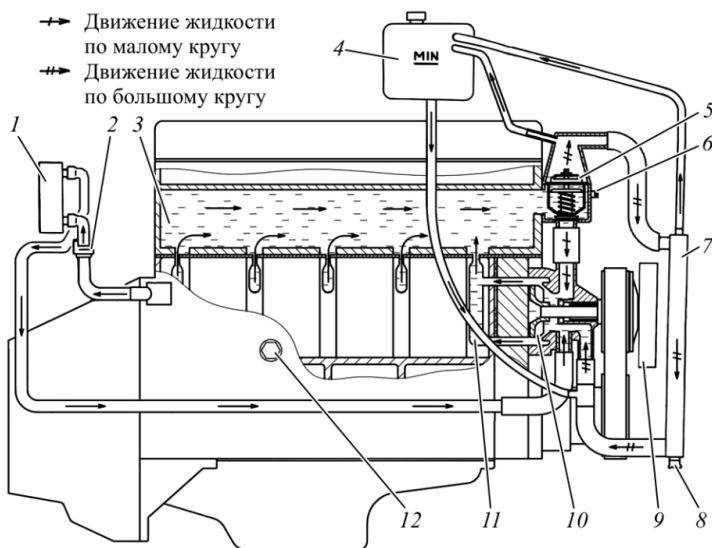


Рис. 5.1. Схема системы охлаждения двигателя ЗМЗ-40524: 1 – радиатор отопителя; 2 – кран отопителя; 3 – рубашка охлаждения головки цилиндров; 4 – расширительный бачок; 5 – термостат; 6 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 7 – радиатор; 8, 12 – сливная пробка радиатора; 9 – вентилятор; 10 – жидкостный насос с электромагнитной муфтой; 11 – рубашка охлаждения блока цилиндров

Оптимальный температурный режим охлаждающей жидкости поддерживается в диапазоне 80–100 °С. Контроль температурного режима двигателя осуществляется по указателю температуры и сигнализатору перегрева (контрольная лампа), находящимся в составе комбинации приборов автомобиля. Указатель температуры охлаждающей жидкости управляется сигналом, формируемым блоком управления на основании

информации от датчика температуры 6, размещенного в корпусе термостата. Лампа сигнализатора перегрева охлаждающей жидкости загорается красным цветом при превышении температуры охлаждающей жидкости 105°C .

Радиатор – это теплообменный аппарат, в котором организован процесс передачи теплоты от одной среды к другой через разделяющую их поверхность.

Радиатор (рис. 5.2) состоит из сердцевины 2 и двух резервуаров для жидкости – бачков. Резервуар, в который жидкость поступает из рубашки охлаждения, – верхний бачок 3, резервуар, из которого жидкость поступает к насосу, – нижний бачок 9. Соединение сердцевины с бачками может быть паяным или сборным – болтовым или иным крепежным способом. Основное требование к способу соединения сердцевины с бачками – его герметичность.

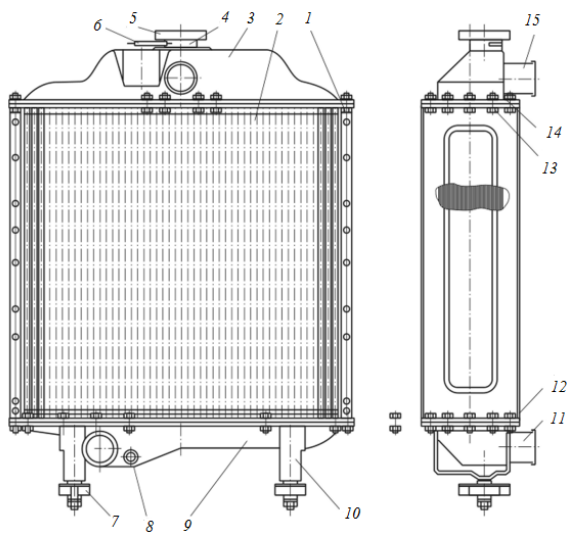


Рис. 5.2. Водяной радиатор трубчато-пластинчатый сборной конструкции: 1 – опорная стойка; 2 – сердцевина; 3 – бачок верхний; 4 – горловина заливная; 5 – пробка заливная; 6 – паровоздушная трубка; 7 – амортизатор; 8 – отверстие сливного краника; 9 – бачок нижний; 10 – опора; 11 – патрубок нижнего бачка; 12 – монтажная пластина; 13 – болт крепежный; 14 – прокладка; 15 – патрубок верхнего бачка

В верхнем бачке выполнены патрубок 15 для подачи жидкости из рубашки охлаждения, горловина 4 для заправки системы охлаждения, закрываемая пробкой 5. К горловине припаяна паротводящая трубка 6, которая служит для удаления паров при перегреве или кипении жидкости и впуска воздуха в радиатор при остывании. В нижнем бачке выполнены патрубок 11 для подачи жидкости к водяному насосу и отверстие сливного крана 8. В сборных радиаторах между бачками 3 и 9 и опорными пластинами сердцевины 2 устанавливаются резиновые прокладки 14, монтажные пластины 12, обеспечивающие жесткость стыкового соединения, и крепежные болты 13 с гайками. Для прочности радиатора по сторонам сердцевины между верхним и нижним бачками фиксируются опорные стойки 1.

Между плоскостью радиатора и вентилятором на стойки радиатора крепится направляющий кожух-диффузор, который создает направленное движение воздуха через сердцевину.

Нагретая от механизмов двигателя жидкость поступает в верхний бачок 3 и, двигаясь по трубкам сердцевины радиатора 2, охлаждается потоком воздуха, поступающим от вентилятора или из окружающей среды. Для увеличения площади поверхности контакта сердцевины радиатора с воздухом к трубкам припаиваются плоские латунные пластины. Далее, из нижнего бачка 9 охлажденная жидкость, нагнетаемая насосом, поступает к механизмам работающего двигателя.

Для поддержания оптимального температурного режима работы двигателя могут использоваться жалюзи, угол открытия которых регулируется специальной тягой, при этом изменяется количество воздуха, поступающего для охлаждения жидкости в радиаторе.

Охлаждающая жидкость заливается в радиатор через заливную горловину, находящуюся в верхнем бачке радиатора. Если в системе охлаждения имеется расширительный бачок, тогда заполнение системы жидкостью осуществляется через него. Слив охлаждающей жидкости производится краном 8.

Заливную горловину закрывает крышка (рис. 5.3), в которой установлен *паровоздушный клапан*, предназначенный для защиты радиатора от разрушения при повышении или понижении давления в системе охлаждения.

Паровой клапан 2 открывается при избыточном давлении в системе охлаждения (0,03–0,04 МПа), и пар по трубке 1 выходит в атмосферу. Воздушный клапан 9 открывается, когда разрежение в системе достигает 0,001–0,012 МПа, и по трубке 1 воздух поступает в радиатор.

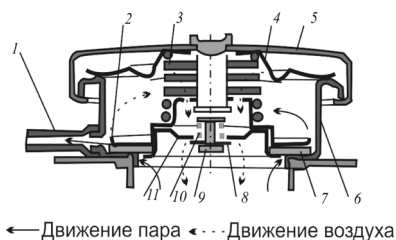


Рис. 5.3. Крышка горловины радиатора с паровоздушным клапаном:

- 1 – пароводводящая трубка; 2 – паровой клапан; 3 – пружина парового клапана;
- 4 – запорная пружина; 5 – корпус крышки;
- 6 – горловина радиатора; 7, 8 – резиновые прокладки; 9 – воздушный клапан;
- 10 – пружина воздушного клапана;
- 11 – седло воздушного клапана

Термостат ускоряет прогрев двигателя при запуске и автоматически поддерживает температуру охлаждающей жидкости в заданных пределах путем управления потоком охлаждающей жидкости между двигателем и радиатором. Термостат чаще всего располагается на выходе из головки блока цилиндров или на входе насоса охлаждающей жидкости.

На современных двигателях устанавливается термостат с твердым наполнителем – церезином (нефтяным воском). Конструктивно термостат представляет собой термочувствительный клапан, размещенный в латунной рамке. На двигателях устанавливаются различные виды термостатов: одноклапанный, двухступенчатый, двухклапанный, термостат с электронным управлением.

Одноклапанный термостат (рис. 5.4, а) имеет самое простое устройство, поскольку имеет только один тарельчатый клапан.

Разновидностью одноклапанного термостата является *двухступенчатый термостат*. В некоторых системах охлаждения создается высокое давление охлаждающей жидкости, которое клапану термостата достаточно сложно преодолеть. Для таких случаев разработана конструкция термостата, в которой клапан состоит из двух тарелок – малой и большой. При повышении температуры сначала открывается малая тарелка, так как для преодоления высокого давления жидкости ей требуется меньше усилий. При открытии малая тарелка тянет за собой большую тарелку, которая, в свою очередь, полностью открывает проход для охлаждающей жидкости.

Двухклапанный термостат (рис. 5.4, б) имеет два клапана (две тарелки), расположенные на одном корпусе. Первый (основной) клапан запирает большой круг охлаждающей жидкости. Второй (перепускной) клапан управляет малым кругом. Клапаны работают совместно – когда один запирает, другой открывает соответствующий контур.

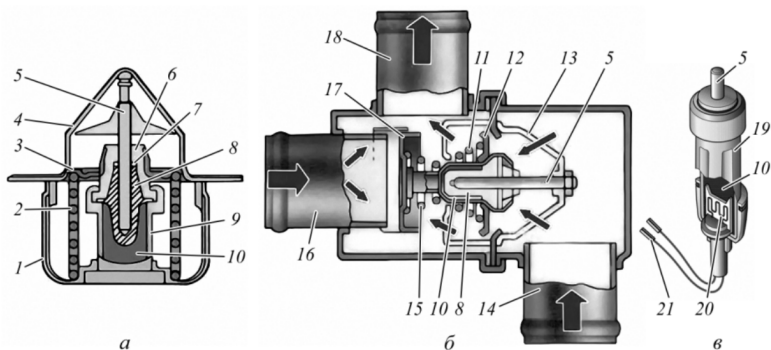


Рис. 5.4. Устройство термостата: а – одноклапанный термостат; б – двухклапанный термостат; в – термозлемент термостата с электронным управлением; 1 – нижняя рамка; 2 – возвратная пружина; 3 – клапан; 4 – верхняя рамка; 5 – шток; 6 – направляющее устройство; 7 – уплотнительное кольцо; 8 – резиновая вставка; 9 – корпус клапана; 10 – твердый термочувствительный наполнитель; 11 – пружина основного клапана; 12 – основной клапан; 13 – держатель; 14 – входной патрубок (от радиатора); 15 – пружина перепускного клапана; 16 – входной патрубок (от рубашки охлаждения); 17 – перепускной клапан; 18 – выходной патрубок (к насосу); 19 – корпус термозлемента; 20 – нагревательный резистор; 21 – штекер нагревательного резистора

Самым совершенным является *термостат с электронным управлением*, который обеспечивает разные температурные режимы для разных режимов работы двигателя. Конструктивно это одноклапанный термостат, в термозлемент которого добавлен нагревательный резистор (рис. 5.4, в). Управление нагревом резистора осуществляется блоком управления двигателем. Данная конструкция термостата позволяет реализовать температурный режим 95–110 °С при частичной нагрузке двигателя и 85–95 °С при полной нагрузке. Эффект от применения электронного термостата заключается в снижении расхода топлива, а также в некотором увеличении мощности за счет более интенсивного охлаждения всасываемого воздуха.

Рубашка охлаждения двигателя состоит из множества каналов в блоке и головке блока цилиндров, по которым циркулирует охлаждающая жидкость.

Насос центробежного типа заставляет жидкость перемещаться по рубашке охлаждения двигателя и всей системе.

Насос устанавливается, как правило, в передней части двигателя и может иметь два вида привода: механический и электрический. Меха-

нический привод производится от коленчатого или распределительно-го вала двигателя с помощью ременной передачи. Электрический при-вод предполагает установку электродвигателя с системой управления.

В качестве насоса охлаждающей жидкости используются насосы центробежного типа (рис. 5.5).

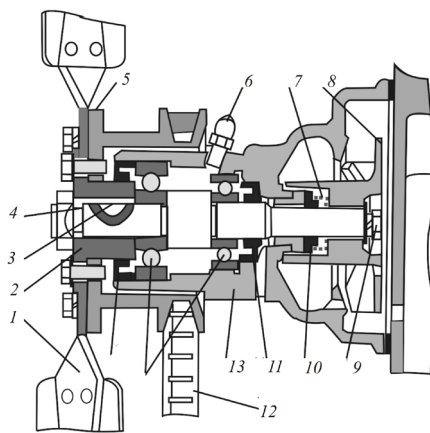


Рис. 5.5. Центробежный водяной насос: 1 – вентилятор; 2 – ступица шкива; 3 – сегментная шпонка; 4 – валик водяного насоса; 5 – шкив водяного насоса; 6 – масленка; 7 – упорная пружина сальника; 8 – крыльчатка насоса; 9 – болт; 10 – сальник; 11 – каркасный самоподжимной сальник; 12 – клиновидный ремень; 13 – корпус насоса; 14 – шарикоподшипник; 15 – самоподжимной сальник

Конструкция такого насоса включает рабочее колесо (крыльчатку) 8, посаженное на вал 4 со шкивом 5, помещенное в корпус 13. Рабочее колесо, выполненное в виде лопастей специальной формы, непосредственно обеспечивает циркуляцию охлаждающей жидкости. Корпус насоса изготавливается из чугуна или литого алюминия. В корпусе выполнены каналы для подвода и отвода охлаждающей жидкости к рабочему колесу. Между корпусом насоса и блоком цилиндров двигателя устанавливается уплотнительная прокладка, предохраняющая от утечки охлаждающей жидкости из насоса.

При вращении рабочего колеса на входе насоса создается разрежение, за счет которого охлаждающая жидкость из радиатора поступает в насос. Жидкость подается в центральную часть насоса, перемещается по лопастям и выбрасывается центробежной силой на выход из насоса и далее в рубашку охлаждения блока цилиндров.

Вентилятор предназначен для принудительного увеличения скорости и количества воздуха, проходящего через радиатор, а также для создания потока воздуха в случае, когда автомобиль стоит без движе-

ния с работающим двигателем. Конструктивно вентилятор радиатора объединяет четыре и более лопасти, расположенные на общем шкиве. Вентилятор устанавливается, как правило, между радиатором и двигателем в специальном кожухе. Вентилятор может иметь различный привод: механический; электрический (управляемый электродвигатель); гидравлический.

Механический привод вентилятора представляет собой постоянный привод от коленчатого вала посредством ременной передачи. Недостатком данного привода являются существенные затраты мощности двигателя на вращение вентилятора.

Гидромеханический привод вентилятора может быть представлен вязкостной или гидравлической муфтой.

Муфта вязкостного трения обеспечивает автоматическое регулирование производительности вентилятора в зависимости от температуры охлаждающей жидкости в дизеле Д-260.1 и его модификациях (рис. 5.6). Предусмотрено также принудительное включение вентилятора. При автоматическом режиме работы вентилятора температура охлаждающей жидкости в дизеле поддерживается в пределах 85–95 °С, гайка 27 стопора 26, в соответствии с рис. 5.6, завернута до упора.

Автоматически управляемый вентилятор объединен в один агрегат с водяным насосом. На шкив 12 водяного насоса устанавливается муфта вязкостного трения. Вал привода 17 муфты с одной стороны жестко связан со шкивом 12 водяного насоса, с другой стороны – с ведущим диском 20, на котором закреплены клапан 21 и обойма 22 с возвратной пружиной 23.

На валу привода, опираясь на два подшипника, установлен диск ведомый 18, который с закрепленными на нем лопастями 30 образует вентилятор. На ведомом диске жестко закреплена крышка ведомая 19.

В центральном отверстии вала привода установлен толкатель 15, подвижно взаимодействующий с одной стороны с клапаном 21, с другой стороны – с термосиловым элементом 7, установленным в крыльчатке 2 водяного насоса, посредством штока 14.

Резервная полость муфты, образованная ведущим диском 20 и ведомой крышкой 19, заполнена вязкой жидкостью ПМС-100000.

Чтобы перейти на принудительный режим, при котором вентилятор включен постоянно, необходимо гайку 27 стопора отвернуть на 4-5 оборотов (5 мм) и повернуть рукой вентилятор до момента утопания стопора в отверстие ведущего диска. В случае приклинивания сто-

пора в ведомой крышке при проворачивании вентилятора необходимо надавить на стопор.

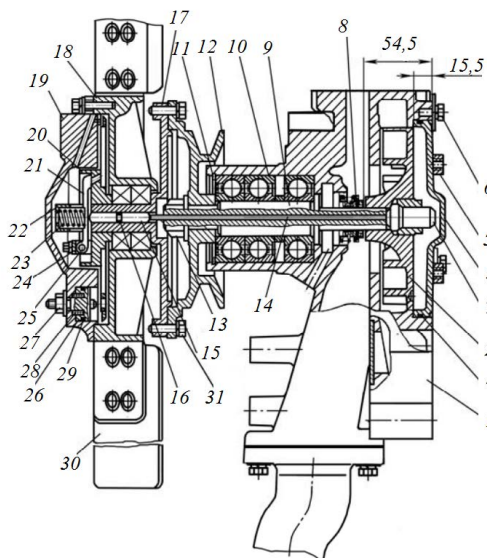


Рис. 5.6. Насос водяной с автоматически отключаемым вентилятором: 1 – корпус водяного насоса; 2 – крыльчатка; 3 – крышка; 4 – кольцо (уплотнение); 5 – бонка демонтажная; 6 – болт; 7 – термосиловой элемент; 8 – сальник водяного насоса; 9 – валик насоса; 10 – подшипник; 11 – кольцо стопорное; 12 – шкив; 13 – гайка; 14 – шток; 15 – толкатель; 16 – кольцо (уплотнение); 17 – вал привода; 18 – диск ведомый; 19 – крышка ведомая; 20 – диск ведущий; 21 – клапан; 22 – обойма; 23 – пружина; 24 – стойка; 25 – ось клапана; 26 – стопор; 27 – гайка стопора; 28 – пружина; 29 – кольцо (уплотнение); 30 – лопасть вентилятора; 31 – болт

Работа автоматически управляемого вентилятора осуществляется следующим образом. При температуре охлаждающей жидкости ниже $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ возвратная пружина 23 удерживает клапан 21 в закрытом положении, вязкая жидкость перетекает в резервную полость муфты, ведущий 20 и ведомый 18 диски вращаются с зазором между собой, что обеспечивает выключение. При этом частота вращения вентилятора должна быть не более 1500 мин^{-1} .

При температуре охлаждающей жидкости дизеля выше $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ термочувствительный элемент через шток 14 и толкатель 15, преодолевая

усилие возвратной пружины 23, открывает клапан 21. Вязкая жидкость через отверстие в ведущем диске перетекает в рабочую полость, заполняет зазор между ведущим и ведомым дисками, в результате чего происходит сцепление этих дисков и вентилятор включается.

Электрический привод вентилятора радиатора включает в себя электродвигатель и систему управления. Система управления обеспечивает работу вентилятора в зависимости от температуры двигателя. Типовая схема управления вентилятором с электрическим приводом включает: датчик температуры охлаждающей жидкости; электронный блок управления двигателем; реле включения вентилятора и электродвигатель в качестве исполнительного устройства.

Датчик температуры охлаждающей жидкости предназначен для измерения температуры охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя.

Патрубки и шланги служат для соединения рубашки охлаждения двигателя с термостатом, насосом и радиатором. В систему охлаждения двигателя включен также и отопитель салона. Горячая охлаждающая жидкость проходит через радиатор отопителя и нагревает воздух, подающийся в салон автомобиля.

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство, принцип работы системы охлаждения.
2. К чему приводят переохлаждение или перегрев ДВС?
3. Какие бывают системы охлаждения по применению охлаждающей среды?
4. Преимущества и недостатки воздушного и жидкостного охлаждения.
5. Для чего предназначены и как устроены жидкостные насосы?
6. Какие бывают виды привода вентилятора? Сравните их между собой.
7. Какие типы и конструкции вентиляторов и радиаторов применяют на автомобильных двигателях?
8. Как в процессе работы контролировать и регулировать тепловое состояние двигателей?
9. Назначение и работа термостатов с жидкостным и твердым наполнителем.
10. Каково назначение парового и воздушного клапана в системе охлаждения?

6. СИСТЕМА СМАЗЫВАНИЯ

Одним из недостатков поршневых двигателей внутреннего сгорания является наличие большого количества подвижных деталей, имеющих значительные поверхности трения. При этом трущиеся (сопряженные) пары работают при высоких температурах и воспринимают значительные динамические нагрузки. Трение вызывает износ трущихся деталей, выделение тепла и требует затрат мощности. Принято различать трение *сухое*, *полусухое*, *полужидкостное* и *жидкостное*.

При *сухом* трении рабочие поверхности деталей сухие и непосредственно соприкасаются одна с другой (в практических условиях сухое трение не существует).

При *жидкостном* трении рабочие поверхности полностью разделены достаточно толстым слоем масла.

При *полужидкостном* трении масляный слой не полностью разделяет трущиеся поверхности. В этом случае в местах разрыва масляного слоя неровности трущихся поверхностей могут соприкасаться между собой (граничное трение). Полужидкостное трение наиболее характерно для цилиндропоршневой группы деталей.

Таким образом, для обеспечения долговечной работы двигателя при минимальных затратах мощности на привод всех его механизмов необходима смазка трущихся поверхностей. В связи с этим все поршневые ДВС имеют смазочную систему – совокупность устройств, которые подают масло в необходимом количестве к трущимся поверхностям. Введение слоя масла между трущимися поверхностями поршневых ДВС не только снижает трение и износ деталей, но и выполняет следующие функции: отвод тепла, возникающего вследствие трения; защита деталей от коррозии; очистка трущихся поверхности от нагара и продуктов износа; уплотнение рабочей полости цилиндра.

Система смазки двигателей автомобилей и тракторов должна обеспечивать:

- бесперебойную подачу масла (в необходимом количестве, под определенным давлением, требуемого состояния и качества) к трущимся деталям при работе на различных скоростных и нагрузочных режимах и в различных условиях эксплуатации;
- высокую степень очистки масла от механических примесей;
- возможность длительной работы двигателя под нагрузкой без перегрева масла.

Масло к трущимся поверхностям деталей двигателя может подводиться разными способами: под давлением, капельным способом (разбрызгиванием масла) или масляным туманом. В зависимости от способа подвода различают два типа систем смазки:

- разбрызгиванием;
- комбинированная.

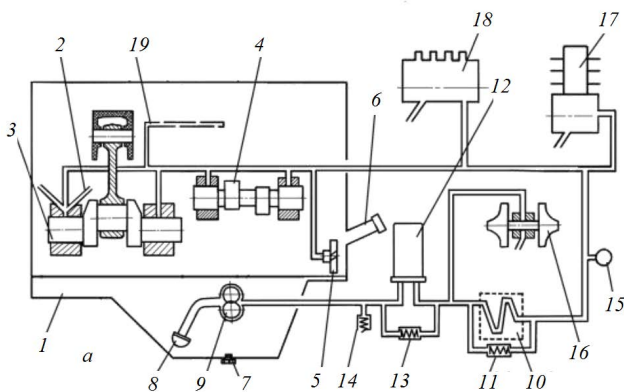
В современных автотракторных двигателях применяются комбинированные системы смазки (рис. 6.1), в которых смазка большинства наиболее нагруженных и ответственных узлов осуществляется под давлением. Остальные детали смазываются разбрызгиванием за счет образующегося в картере двигателя масляного тумана. В высокофорсированных двигателях предусматривается также подача масла под давлением к поршневому пальцу, а для снижения температуры верхней части поршня применяют его струйное (дизели Д-260.1, -260.2, ВФ6М 1013Е Deutz (Германия)) или полостное (дизели ЯМЗ-8401, -8423) охлаждение маслом.

Практически все автотракторные ДВС, выпускаемые в Республике Беларусь и странах СНГ, имеют систему смазки с мокрым картером, в которой масло, используемое для смазки деталей двигателя, находится в поддоне картера. Кроме того, система смазки включает одно- или многосекционный масляный насос и различные вспомогательные устройства, предназначенные для поддержания заданного давления (перепускные, предохранительные, обратные клапаны, клапаны-термостаты), и техническое оборудование ДВС (сливная пробка, масломерный шуп, маслозаливная горловина и др.), а также различные измерительные приборы и датчики.

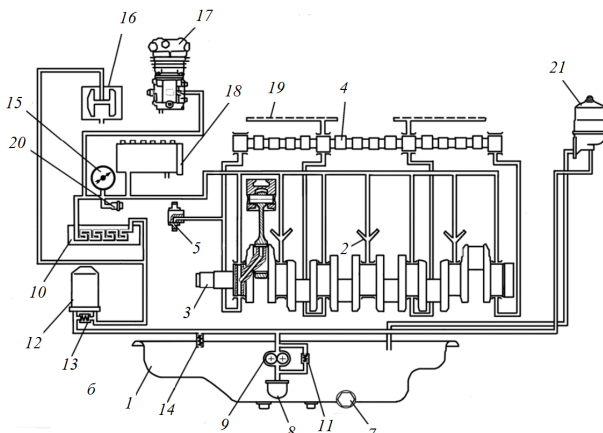
Подшипники коленчатого 3 (рис. 6.1) и распределительного 4 валов, втулка промежуточной шестерни 5, шатунный подшипник коленчатого вала компрессора 17, механизм привода клапанов 19 и подшипник вала турбокомпрессора 16 смазываются под давлением от масляного насоса 9. Гильзы, поршни, поршневые пальцы, штанги, толкатели, кулачки распределительного вала и привод топливного насоса смазываются разбрызгиванием.

Система смазки состоит из масляного насоса 9, масляного фильтра с бумажным фильтрующим элементом 12, центробежного масляного фильтра 21, жидкостно-масляного теплообменника 10.

Масляный насос 9 шестеренчатого типа, односекционный, крепится болтами к крышке первого коренного подшипника. Привод масляного насоса осуществляется от шестерни, установленной на коленчатом валу.



a



б

Рис. 6.1. Система смазки дизеля: *a* – Д-243, -245; *б* – Д-260; 1 – картер масляный; 2 – форсунки охлаждения поршней; 3 – вал коленчатый; 4 – вал распределительный; 5 – шестерня промежуточная; 6 – горловина маслозаливная; 7 – пробка масляного картера; 8 – маслоприемник; 9 – насос масляный; 10 – жидкостно-масляный теплообменник; 11 – клапан редукционный; 12 – фильтр масляный бумажный; 13 – клапан перепускной бумажного фильтрующего элемента; 14 – клапан предохранительный; 15 – датчик давления; 16 – турбокомпрессор; 17 – компрессор; 18 – топливный насос высокого давления; 19 – масляный канал оси коромысел; 20 – датчик аварийного давления масла; 21 – центробежный масляный фильтр

В масляном насосе имеется редукционный клапан 11, предотвращающий чрезмерное повышение давления, создаваемого масляным насосом, подачу которого рассчитывают с запасом на случаи работы с пониженной частотой вращения, на горячем масле при определенной изношенности двигателя, отрегулированный на давление 0,7–0,75 МПа. Регулировка производится на стенде с помощью регулировочных шайб.

Со стороны нагнетательной полости насоса на клапан действует сила давления масла, а с противоположной стороны – усилие пружины. Когда сила давления превысит сопротивление пружины (например, при прокачивании холодного масла, имеющего повышенную вязкость), клапан 11 откроется и избыток масла переместится из полости нагнетания в полость всасывания. Редукционный клапан может быть расположен и вне насоса.

Масляный насос 9 через маслоприемник 8 забирает масло из масляного картера 1 и по каналам в блоке цилиндров подает в полнопоточный масляный фильтр 12 с бумажным фильтрующим элементом, а часть масла (Д-260) – в центробежный масляный фильтр 21 для очистки и последующего слива в картер.

Фильтрующий элемент масляного фильтра имеет перепускной клапан 13. В случае чрезмерного засорения бумажного фильтрующего элемента или при запуске дизеля на холодном масле, когда сопротивление фильтрующего элемента становится выше 0,13–0,17 МПа, перепускной клапан открывается и масло, минуя фильтровальную бумагу, поступает в масляную магистраль. Перепускной клапан нерегулируемый.

В корпусе фильтра встроен предохранительный нерегулируемый клапан 14, предназначенный для поддержания давления масла в главной масляной магистрали на уровне 0,28–0,45 МПа. При давлении масла выше 0,45 МПа открывается предохранительный клапан 14 и избыточное масло (запас масла) через предохранительный клапан сливается в картер 1 дизеля.

Масло, очищенное в масляном фильтре, поступает в жидкостно-масляный теплообменник 10, встроенный в блок цилиндров дизеля.

Из жидкостно-масляного теплообменника охлажденное масло поступает по каналам в блоке цилиндров в главную масляную магистраль, из которой по каналам в блоке цилиндров масло подается ко всем коренным подшипникам коленчатого вала и опорам распределительного вала. От второго, четвертого и шестого коренных подшипни-

ков через форсунки 2, встроенные в коренных опорах блока цилиндров, масло подается для охлаждения поршней.

От коренных подшипников по каналам в коленчатом валу масло поступает на смазку шатунных подшипников.

От первого коренного подшипника масло по специальным каналам в передней стенке блока поступает к втулке промежуточной шестерни 5 и далее по каналу в крышке распределения на смазку деталей топливного насоса 18.

Детали клапанного механизма смазываются маслом, поступающим от второй и третьей опор распределительного вала по каналам в блоке и головках цилиндров, сверлениям в третьей и четвертой стойках коромысел во внутреннюю полость оси коромысел и через отверстия к втулкам коромысел, от которых по каналу поступает на регулировочный винт и штангу.

Масло к подшипниковому узлу турбокомпрессора 16 поступает по трубке, подключенной на выходе из масляного фильтра с бумажным фильтрующим элементом.

К пневмокомпрессору 17 масло поступает по маслопроводу, подключенному на выходе из теплообменника 10. Из компрессора масло сливается в картер дизеля.

Поддон картера является резервуаром для хранения масла. При заливке масла через маслозаливную горловину (установлен сетчатый фильтр) оно проходит по пустотам внутри двигателя и опускается в поддон картера. Уровень имеющегося в поддоне масла определяется масляным щупом через отверстие в картере двигателя.

Масляный насос служит для подачи масла под давлением (через фильтр и каналы) к трущимся деталям кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов. В действие он приводится коленчатым, распределительным или дополнительным приводным валом. Самыми распространенными являются масляные насосы шестеренчатого типа (рис. 6.2).

Масло, поступающее из поддона двигателя или масляного бака во впускную полость 1 насоса, попадает во впадины между зубьями ведущей 3 и ведомой 4 шестерен и при их вращении переносится под давлением в нагнетательную полость 2. Давление в этой полости ограничивает редукционный клапан 5, пружина которого рассчитана на определенное усилие.

Насос обеспечивает давление масла в системе 0,25–0,45 МПа. Допускается кратковременное минимальное давление не ниже 0,08 МПа.

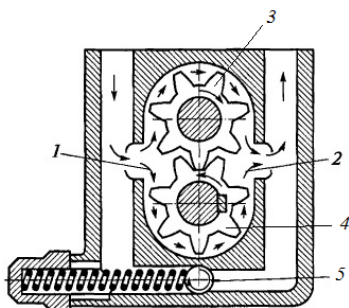


Рис. 6.2. Схема работы шестеренчатого масляного насоса: 1 – впускная полость; 2 – нагнетательная полость; 3 – ведущая шестерня масляного насоса; 4 – ведомая шестерня масляного насоса; 5 – редукционный клапан

В процессе эксплуатации двигателя происходит загрязнение моторного масла, интенсивность которого зависит от конструкции и технического состояния двигателя, качества применяемого топлива, условий эксплуатации и многих других факторов.

Масляный фильтр служит для очистки проходящего через него масла от механических примесей.

Для снижения износа деталей и увеличения срока службы двигателя и масла подавляющее большинство современных ДВС имеет полнопоточную (включающую в себя один фильтр, через который прокачивается все масло, подаваемое масляным насосом) или комбинированную (включающую в себя, кроме полнопоточного фильтра, частичнопоточный фильтр или в некоторых случаях центрифугу) систему очистки масла (рис. 6.3).

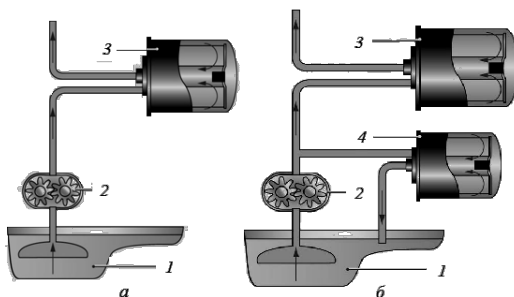


Рис. 6.3. Система смазки двигателя: а – полнопоточная; б – комбинированная; 1 – масляный картер (поддон) двигателя; 2 – масляный насос; 3 – масляный полнопоточный фильтр; 4 – частичнопоточный фильтр

Масляные фильтры должны отвечать следующим требованиям:

1) обладать достаточной грязеемкостью – способностью задерживать и накапливать значительное количество загрязняющих масло примесей, что в основном зависит от размера фильтрующего элемента и определяет срок службы фильтра. По преобладающему способу задержания механических примесей фильтры подразделяют на поверхностные, задерживающие загрязнения преимущественно на поверхности фильтрующего элемента, и объемные, обладающие небольшой поверхностью входа и удерживающие загрязнения в основном в толще фильтровального материала;

2) обеспечивать оптимальную тонкость отсева загрязняющих примесей – определяется размером пор фильтрующего элемента;

3) иметь небольшое гидравлическое сопротивление – для облегчения подачи загустевшего масла к трущимся парам при холодном пуске двигателя;

4) иметь достаточную прочность корпуса и надежное уплотнение по соединению с двигателем – на случай аварийного повышения давления в системе смазки или внешних механических воздействий.

Устройство масляного фильтра (рис. 6.4) достаточно простое и предельно эффективное.

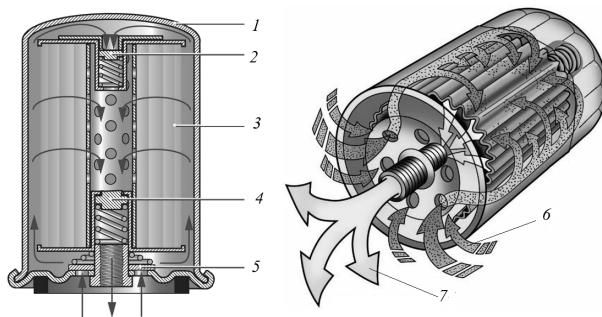


Рис. 6.4. Неразборный масляный фильтр: 1 – корпус; 2 – фильтрующий элемент; 3 – перепускной клапан; 4 – противодренажный клапан; 5 – противосливной клапан; 6 – неочищенное масло; 7 – очищенное масло

Масляный фильтр состоит из корпуса 1, в котором находятся фильтрующий элемент 2 и при необходимости перепускной 3, противодренажный 4 и противосливной 5 клапаны. В зависимости от конструкции корпуса фильтры могут быть двух типов:

- неразборные, получившие в настоящее время наибольшее распространение благодаря компактности, низкой стоимости и удобству замены;

- разборные со сменным фильтрующим элементом, применяющиеся реже, так как имеют увеличенные габариты и менее удобны в обслуживании.

Фильтрующий элемент – основная часть фильтра, чаще всего изготавливается из специальной гофрированной бумаги, пропитанной смолами (задерживает частички мусора, которые попадают в масле). Такая бумага обладает высокой пористостью, а благодаря пропитке – прочностью, водо- и маслостойкостью. Для достижения максимально возможной площади фильтрующей поверхности при минимальных габаритах фильтра бумагу укладывают специальным образом, обычно в виде многолучевой звезды.

Перепускной клапан иногда называют предохранительным, обводным или байпасным. Его назначение – обеспечить гарантированную подачу моторного масла в систему смазки двигателя в случае, если оно не может пройти через фильтрующий элемент при его полном засорении или слишком большой вязкости масла при низких температурах. Давление срабатывания перепускного клапана устанавливается в зависимости от конструкции двигателя и у разных моделей находится в пределах 0,15–0,25 МПа.

Противодренажный клапан предотвращает слив масла из фильтра и масляных каналов в картер двигателя после его остановки. Это исключает при последующем пуске задержку подачи масла в систему смазки из-за образования воздушной пробки. Самая распространенная конструкция противодренажного клапана представляет собой подпружиненный резиновый диск, закрывающий изнутри входные отверстия в корпусе фильтра. Этот клапан должен сохранять эластичность независимо от температуры и плотно прилегать к корпусу фильтра.

Противосливной клапан обычно устанавливается в неразборных фильтрах в комбинации с перепускным или противодренажным клапаном и не позволяет маслу выливаться из корпуса через выходное отверстие при замене отработавшего фильтра.

Центробежные маслоочистители, или центрифуги, находят широкое применение для очистки моторного масла как в отечественных автотракторных ДВС, так и в двигателях, выпускаемых в странах СНГ и дальнего зарубежья. Центрифуги, применяемые для очистки масла в ДВС, по характеру реализуемого в них процесса очистки масла отно-

сятся к осветляющим центрифугам непрерывного действия, для которых характерна высокая степень дисперсности частиц загрязнений и низкая их концентрация в суспензии. Основным достоинством центрифуг является их избирательная способность по отношению к загрязняющим примесям, позволяющая им в первую очередь задерживать наиболее опасные с точки зрения износа деталей ДВС крупные абразивные частицы, а также эффективно удалять из масла частицы размером до 1 мкм и менее, практически не удаляемые полнопоточными фильтрами.

Дизельные двигатели (Д-240, -243, -245) оборудуют одним фильтром – полнопоточной реактивной центрифугой (рис. 6.5). В двигателях (Д-260.1, -260.2) в системе очистки масла от примесей имеются два фильтра – с бумажным фильтрующим элементом и центробежный.

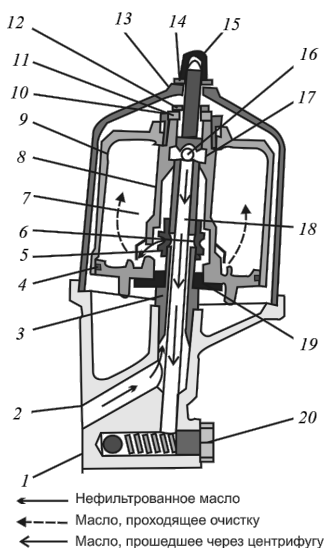


Рис. 6.5. Реактивная центрифуга дизеля Д-240:

- 1 – корпус центрифуги; 2 – подводящий канал; 3 – ось ротора; 4 – резиновое кольцо;
- 5 – насадка; 6 – выходные отверстия;
- 7 – внутренний стакан; 8 – осто́в ротора;
- 9 – верхняя крышка ротора; 10 – гайка специальная; 11, 14 – шайбы; 12 – гайка;
- 13 – колпак; 15 – колпачковая гайка;
- 16 – тангенциальные отверстия;
- 17 – радиальные отверстия;
- 18 – маслоотводящая трубка; 19 – нижняя крышка ротора; 20 – сливной клапан

В реактивных центрифугах масло очищается под действием центробежных сил, возникающих при вращении ротора центрифуги.

Под давлением 0,6–0,7 МПа масло поступает по каналу внутри оси 3 внутрь ротора центрифуги и через выходные отверстия 6 попадает во внутренний стакан 7 ротора. Возникающие при этом реактивные силы вращают ротор с частотой около 6000 мин⁻¹. Под действием цен-

тробежных сил взвешенные в масле твердые частицы осаждаются на внутренних стенках вращающегося ротора, а очищенное масло через отверстия 16, 17 и маслоотводящую трубку 18 поступает в систему смазки двигателя.

В двигателе масло проходит сначала через центробежный фильтр, для нормальной работы которого требуется достаточно высокое давление, и лишь потом поступает в магистраль, где давление должно быть значительно ниже. В этом случае редукционный клапан насоса регулируют на высокое давление, а магистраль снабжают сливным клапаном 20. Со стороны магистрали 18 на этот клапан действует давление масла, а с противоположной – усилие пружины, которую регулируют на заданное давление. Когда давление превышает нормальное, избыток масла из магистрали через открывшийся клапан сливается в поддон. В новом или отремонтированном двигателе утечка масла через зазоры мала, поэтому сливной клапан открыт постоянно.

Вентиляция картера двигателя с искровым зажиганием (рис. 6.6) обеспечивает отсос из картера и отвод во впускной трубопровод паров бензина и выхлопных газов, которые попадают в нижнюю часть двигателя с искровым зажиганием.

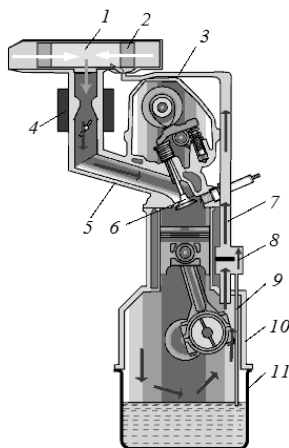


Рис. 6.6. Схема вентиляции картера двигателя:
1 – корпус воздушного фильтра; 2 – фильтрующий элемент; 3 – всасывающий коллектор вентиляции картера; 4 – карбюратор; 5 – впускной трубопровод; 6 – впускной клапан; 7 – шланг вентиляции картера; 8 – маслоотделитель; 9 – сливная трубка маслоотделителя; 10 – картер двигателя; 11 – поддон картера

Во время тактов сжатия и рабочего хода эти пары и газы частично прорываются по стенкам цилиндров в картер двигателя 10, разжижают масло. Они очень агрессивны по отношению к деталям кривошипно-

шатунного механизма. Вентиляция картера осуществляется принудительно за счет разрежения, которое возникает в воздушной горловине карбюратора 4 при работе двигателя. Корпус воздушного фильтра 1 соединяется с картером двигателя 10 с помощью шланга 7, по которому картерные газы направляются сначала в карбюратор 4, а затем и в цилиндры на дожигание.

Вентиляция картера дизельного двигателя проводится через сапун, который сообщается с атмосферой. Чтобы предотвратить попадание пыли в картер и выбрасывание из него масла, в сапун помещена фильтрующая набивка из проволоки, смоченной маслом.

Масляные радиаторы воздушного охлаждения располагают перед радиатором системы охлаждения, чтобы при движении автомобиля они интенсивно обдувались встречным потоком воздуха. Масляный радиатор состоит, как правило, из нескольких плоских или круглых латунных трубок, к которым припаяны охлаждающие пластины, увеличивающие площадь его поверхности охлаждения. Маслопроводы, по которым масло подводится и отводится от радиатора, могут располагаться с одной или противоположных сторон, как показано на рис. 6.7.

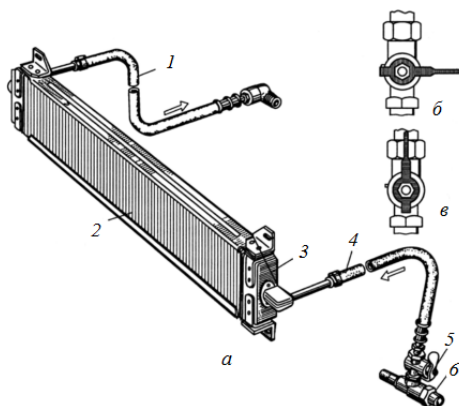


Рис. 6.7. Масляный радиатор воздушного охлаждения:
а – общий вид; б – кран закрыт;
в – кран открыт; 1, 4 – шланги;
2 – масляный радиатор;
3 – бачок; 5 – кран; 6 – штуцер
с предохранительным
(ограничительным) клапаном

С обеих сторон масляный радиатор имеет бачки, к которым присоединены резиновые шланги 1 и 4. По периметру радиатор охвачен каркасом. По шлангу 4 масло поступает в бачок 3, а затем в трубки радиатора. С противоположной стороны охлажденное масло по шлангу стекает в поддон двигателя.

Неотъемлемой частью современных ДВС являются устройства для принудительного охлаждения масла, включенные непосредственно в

смазочную систему, в качестве которых применяются воздушно-масляные или все более широко используемые (дизели Д-260, ЯМЗ-840, -534, -536) *жидкостно-масляные теплообменники* (ЖМТ). Преимущество жидкостно-масляных теплообменников заключается в быстром прогреве масла после запуска двигателя и поддержании его оптимальной температуры без применения каких-либо специальных регулирующих устройств.

При нагреве двигателя нагреву подвергается и масло, циркулирующее в системе смазки, и чем мощнее двигатель, тем в более сложных тепловых условиях работает масло. Перегрев моторного масла чреват серьезными проблемами – изменяется вязкость масла, повышается интенсивность его выгорания и разложения, и в целом ухудшаются его рабочие характеристики. Перегретое масло обеспечивает недостаточно качественную смазку трущихся деталей.

Поэтому на многих двигателях внутреннего сгорания в систему смазки вводится дополнительный элемент, обеспечивающий охлаждение масла. На бензиновых двигателях чаще применяется традиционный масляный радиатор, а на дизелях используются жидкостно-масляные теплообменники или водомасляные теплообменники.

Основное отличие между радиатором и ЖМТ – используемый способ охлаждения масла. Отвод тепла от радиатора осуществляется просто набегающим потоком воздуха, а в теплообменнике тепло от масла отводится потоком охлаждающей жидкости, циркулирующей в системе охлаждения силового агрегата.

На современных двигателях находят применение два типа масляных теплообменников:

- кожухотрубные (или просто трубчатые);
- пластинчатые.

Кожухотрубный ЖМТ (рис. 6.8). Его основу составляет литой алюминиевый цилиндрический корпус 5, внутри которого устанавливается сердцевина.

Сердцевина состоит из ряда параллельных тонкостенных трубок 7, заключенных в кожух. Кожух разделен на несколько секций поперечными пластинами 6. Корпус теплообменника с одной стороны закрыт подводящим коллектором, с другой стороны – отводящим коллектором (они устанавливаются через прокладки). Непосредственно в корпусе выполнены фланцы для монтажа сборки из масляных фильтров и термосилового клапана (который помещен в корпус с каналами).

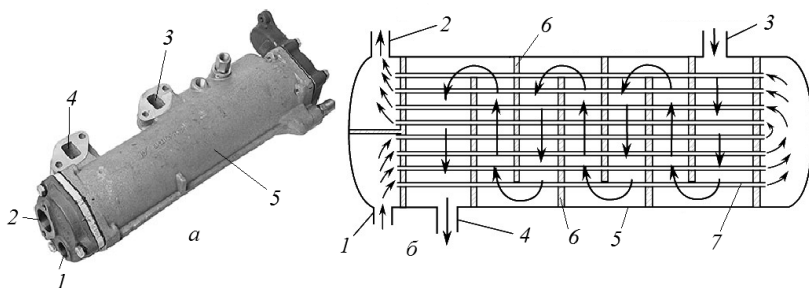


Рис. 6.8. Кожухообразный жидкостно-масляный теплообменник: *а* – теплообменник дизеля Д-260; *б* – схема работы; 1 – подводящий коллектор масла; 2 – отводящий коллектор масла; 3 – подводящий коллектор охлаждающей жидкости; 4 – отводящий коллектор охлаждающей жидкости; 5 – корпус; 6 – пластины; 7 – трубка

Водомасляный теплообменник монтируется непосредственно на блок двигателя, его коллекторы 3 и 4 соединяются с системой охлаждения двигателя. Таким образом, теплообменник становится частью системы охлаждения двигателя и через него пропускается определенное количество охлаждающей жидкости. Жидкость проходит через сердцевину теплообменника, причем из-за наличия поперечных пластин 6 в кожухе путь охлаждающей жидкости увеличивается и эффективность отвода тепла повышается.

Масло из картера двигателя с помощью насоса нагнетается в фильтры, а из них – в каналы двигателя. При повышении температуры масла до 95–97 °С срабатывает термодатчик и часть потока масла направляется в теплообменник – здесь масло проходит по системе труб, омываемых потоком охлаждающей жидкости, охлаждается до необходимой температуры и поступает в двигатель. При повышении температуры до 110–112 °С через ЖМТ проходит уже весь поток масла, поступающий на фильтры. При температуре 115 °С наступает перегрев масла, с которым ЖМТ уже не справляется, в этом случае загорается индикаторная лампа, сообщающая о необходимости остановить автомобиль и охладить двигатель.

Основу *пластинчатого теплообменника* составляет корпус, внутри которого находится пакет гофрированных металлических пластин (или теплопередающих элементов). Пластины установлены таким образом, что их гофры образуют два встречных и много раз пересекающихся потока: один – поток охлаждающей жидкости, второй – поток горячего

масла. Тепло от масла через пластины передается охлаждающей жидкости, за счет чего и обеспечивается поддержание температуры масла на необходимом уровне.

Пластинчатый ЖМТ монтируется на блок двигателя, при этом теплообменник отделен от масляных фильтров и оснащается только перепускным клапаном. Такое решение упрощает конструкцию, обслуживание и ремонт теплообменника (так как для ремонта или демонтажа данного узла не нужно снимать другие детали).

Контрольные вопросы

1. Назначение системы смазки двигателя, ее детали.
2. Как контролируется уровень масла в системе смазки двигателя?
3. Перечислить и указать на двигателе все места очистки масла.
4. Как устроен и работает маслоочистительный полнопоточный и неполнопоточный центробежный масляный фильтр?
5. Достоинства и недостатки центробежных масляных фильтров.
6. Внешние признаки работоспособности центрифуги. За счет чего обеспечивается вращение ротора центрифуги?
7. Способы смазки деталей двигателя. Как и откуда подводится масло для смазки коренных и шатунных подшипников двигателя?
8. Какие последствия вызывает прекращение подачи масла к шейкам коленчатого вала?
9. Какие основные причины влияют на давление в системе смазки двигателя?
10. Для чего предназначен и как устроен масляный насос?
11. Назначение, принцип работы каждого клапана системы.
12. Как смазываются поверхность цилиндра, поршневой палец, подшипники распределительного вала, кулачки, направляющие толкателей, втулки коромысел, штанги?
13. Как осуществляется охлаждение масла в системе? Типы и назначение масляных теплообменников.
14. Что включает в себя уход за системой смазки?
15. Для чего необходима вентиляция картера и как она реализуется в современном двигателе?

7. СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Система питания ДВС предназначена для хранения топлива, подачи в цилиндры топлива и воздуха отдельно либо приготовления топливовоздушной (горючей) смеси с последующей подачей ее в цилиндры двигателя, отвода из цилиндров продуктов сгорания, а также для снижения уровня шума отработавших газов при работе двигателя.

Важной функцией современных систем питания является снижение токсичности отработавших газов, содержащих вредные для окружающей среды вещества.

В зависимости от выполняемых функций элементы системы питания делятся на три группы:

1) приборы, обеспечивающие подготовку и подачу воздуха (воздушная группа);

2) приборы, обеспечивающие подготовку и подачу топлива (топливная группа);

3) приборы, обеспечивающие отвод отработавших газов в окружающую среду (группа отвода и глушения отработавших газов).

Исходя из назначения система питания должна обеспечить:

1) точное дозирование топлива (подачу его необходимого количества в зависимости от режима работы двигателя);

2) подачу в цилиндры чистого воздуха в необходимом количестве;

3) качественное приготовление горючей смеси;

4) своевременную подачу топлива или горючей смеси в цилиндры двигателя;

5) удаление продуктов сгорания с наименьшим шумом при выпуске в окружающую среду;

6) нейтрализацию вредных веществ, содержащихся в отработавших газах.

Мощность, экономичность двигателя и токсичность отработавших газов зависят от полного и быстрого сгорания топлива. Во многом это определяется работой системы питания.

В зависимости от используемого вида топлива поршневые двигатели внутреннего сгорания, наиболее широко применяемые на современных автомобилях, подразделяют на дизельные, бензиновые (карбюраторные и с впрыском топлива) и газовые.

В двигателях с искровым (принудительным) зажиганием применяются системы питания карбюраторные и с впрыскиванием бензина, а также газовые системы питания.

Системы питания с искровым зажиганием подразделяют:

1) по месту приготовления горючей смеси:

- в карбюраторе;
- во впускном трубопроводе;
- в цилиндрах двигателя;

2) по способу приготовления горючей смеси:

- с пульверизационным приготовлением горючей смеси;
- с впрыском топлива;
- с непосредственным впрыском топлива.

Системы питания двигателей, работающих на газообразных топливах, классифицируют в зависимости от типа применяемого газа:

- работающие на сжиженном нефтяном газе (СНГ), в состав которого входит пропан и бутан;
- работающие на сжатом природном газе (СПГ), т. е. в качестве топлива используют метан или компримированный природный газ.

В качестве топлива для двигателей с искровым зажиганием используют горючую смесь, состоящую из бензина и воздуха в различных пропорциях.

Процесс смесеобразования заключается в смешивании бензина в распыленном состоянии с воздухом в определенной пропорции. Горючая смесь должна удовлетворять двум основным требованиям:

- при воспламенении в цилиндре двигателя смесь должна сгорать очень быстро (в течение короткого промежутка времени), чтобы обеспечить соответствующее давление газов на поршень в начале его рабочего хода;
- бензин, входящий в состав горючей смеси, должен сгорать полностью, чтобы выделялось наибольшее количество теплоты и работа двигателя была наиболее экономичной.

Для быстрого и полного сгорания горючей смеси необходимо, чтобы бензин с воздухом смешивался в строго определенной массовой пропорции. Состав горючей смеси в зависимости от соотношения топлива и воздуха в ней характеризуют специальным показателем – коэффициентом избытка воздуха α , представляющим собой отношение действительного количества воздуха в смеси в килограммах, приходящегося на 1 кг топлива, к теоретически необходимому количеству, обеспечивающему полное сгорание 1 кг топлива.

В зависимости от соотношения масс бензина и воздуха различают нормальную (стехиометрическую), обедненную, бедную, обогащенную, богатую смесь.

Нормальной называется смесь, в которой на 1 кг бензина приходится 14,3 кг воздуха – теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания бензина ($\alpha = 1$). При использовании нормальной смеси двигатель работает устойчиво со средними показателями по мощности и экономичности.

Обедненной называется смесь, в которой имеется незначительный избыток воздуха по сравнению с его нормальным количеством (до 16,5 кг на 1 кг топлива, $\alpha = 1,1 \dots 1,15$). При работе на обедненной смеси мощность двигателя вследствие уменьшения скорости сгорания смеси несколько снижается, но экономичность заметно повышается, так как происходит наиболее полное сгорание бензина.

Бедной называется смесь, имеющая значительный избыток воздуха по сравнению с его нормальным количеством ($\alpha > 1,2$). Из-за удаленности частиц распыленного в воздухе бензина бедная смесь горит медленно, и давление газов в цилиндрах двигателя понижается. Вследствие медленного горения смеси большая часть теплоты поглощается стенками цилиндров и охлаждающей их жидкостью, что вызывает перегрев двигателя. Двигатель на бедной смеси работает неустойчиво, его мощность падает, сильно возрастает удельный расход топлива. Работа на бедной смеси обычно сопровождается вспышками в карбюраторе, так как пламя медленно догорающей в цилиндре смеси при открытии впускного клапана перебрасывается во впускной трубопровод, воспламеняя идущую по нему свежую смесь. Если количество воздуха превышает 19 кг на 1 кг бензина ($\alpha > 1,3$), то такая горючая смесь совсем не воспламеняется от искры свечи зажигания.

Обогащенной называется смесь, имеющая незначительный недостаток воздуха по сравнению с его нормальным количеством – до 13 кг на 1 кг топлива ($\alpha = 0,85 \dots 0,9$). Скорость сгорания обогащенной смеси возрастает, в результате чего давление газов в цилиндре двигателя к началу рабочего хода поршня увеличивается. При работе на обогащенной смеси двигатель развивает наибольшую мощность, но при несколько повышенном расходе топлива вследствие недостаточно полного его сгорания.

Богатой называется смесь, имеющая значительный недостаток воздуха по сравнению с его нормальным количеством ($\alpha < 0,85$). В такой смеси из-за большого недостатка кислорода бензин сгорает не полно-

стью, что вызывает снижение мощности двигателя при значительном расходе топлива. Основная часть несгоревшего бензина выбрасывается в выпускной трубопровод и выходит из него в виде черного дыма, оставшаяся часть в виде копоти откладывается на стенках цилиндров. В результате догорания несгоревшего бензина в выпускном трубопроводе возникают хлопки, что является внешним признаком сильного обогащения смеси. При чрезмерно обогащенной смеси, когда содержание воздуха достигает 5 кг на 1 кг бензина ($\alpha < 0,4$), смесь совсем не воспламеняется.

7.1. Система питания карбюраторного двигателя

В автомобильных двигателях ранее использовался карбюраторный способ смесеобразования (рис. 7.1). Процесс приготовления горючей смеси называют *карбюрацией*. При этом топливовоздушная смесь в основном образуется в системе впуска (в карбюраторе и впускном трубопроводе) и завершается смесеобразование в цилиндре.

Процесс карбюрации включает в себя: движение воздуха через карбюратор и по впускному тракту двигателя; движение топлива по каналам и через калиброванные дозирующие отверстия (жиклеры); истечение топлива или бензовоздушной эмульсии из распылителей; распыление, испарение и перемешивание топлива с воздухом.

В систему питания автомобиля с *карбюраторным* двигателем (рис. 7.1) входят топливный бак 13, топливный насос 1, топливные фильтры 5 и 19, трубопровод 20 подачи топлива в топливный насос, карбюратор 4, фильтр очистки воздуха (воздухоочиститель) 3, впускной трубопровод 6.

Отработавшие газы выходят через приемные трубы 21 глушителя и глушитель 18. Топливо из бака через фильтры насосом подается к карбюратору, где смешивается в определенной пропорции с воздухом, поступающим через воздухоочиститель. Полученная горючая смесь из-за разрежения в цилиндрах двигателя с большой скоростью перемещается по впускному трубопроводу, при этом дополнительно перемешиваясь, и попадает в цилиндры двигателя, где и сгорает. За счет давления образовавшихся при сгорании горючей смеси газов осуществляется работа двигателя.

К достоинствам карбюраторного двигателя можно отнести доступность обслуживания, к недостаткам – неравномерную подачу топлива по цилиндрам, неравномерность состава смеси по цилиндрам, слож-

ность конструкции, плохое смешивание, повышенное сопротивление впускного тракта (из-за диффузора), наличие подогрева впускного тракта.

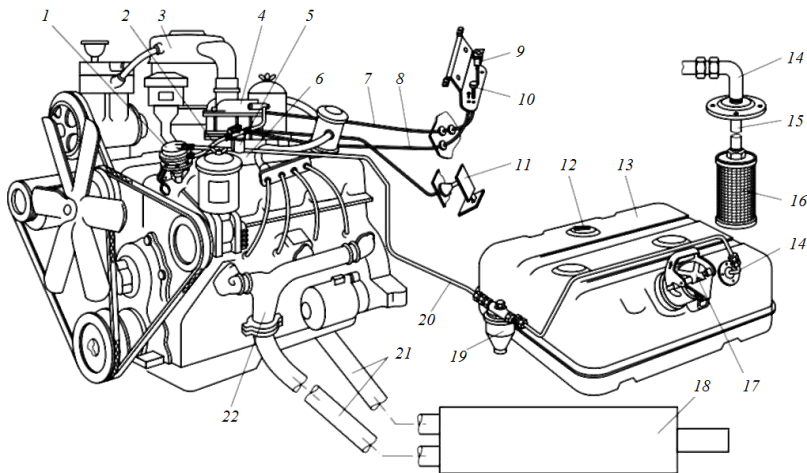


Рис. 7.1. Устройство топливной системы автомобиля ЗИЛ-433360: 1 – топливный насос; 2 – топливопровод подачи топлива к фильтру тонкой очистки топлива; 3 – фильтр очистки воздуха; 4 – карбюратор; 5 – фильтр тонкой очистки топлива; 6 – впускной трубопровод; 7 – тяга привода воздушной заслонки карбюратора; 8 – тяга привода ручного управления дроссельной заслонкой карбюратора; 9 – ручка управления воздушной заслонкой карбюратора; 10 – ручка ручного управления дроссельной заслонкой карбюратора; 11 – педаль управления дроссельной заслонкой карбюратора; 12 – фланец датчика указателя уровня топлива в баке; 13 – топливный бак; 14 – угольник трубки подачи топлива в топливный насос; 15 – приемная трубка; 16 – сетчатый фильтр очистки топлива; 17 – крышка топливного бака; 18 – глушитель; 19 – фильтр-отстойник топлива; 20 – трубопровод подачи топлива в топливный насос; 21 – приемные трубы глушителя; 22 – выпускной трубопровод

Однако основной причиной отказа от карбюраторных двигателей является то, что карбюраторы не могут удовлетворять современным требованиям по расходу топлива и содержанию вредных веществ в отработавших газах. Применение систем впрыска топлива позволяет решить эти проблемы.

Данная система питания получила распространение в автомобилях, производимых в бывшем СССР и России – ВАЗ, ГАЗ, ЗИЛ, ИЖ, УАЗ.

7.2. Системы впрыска бензина

По мере развития систем впрыска топлива на автомобилях устанавливались механические и электронные системы, различающиеся по месту, способу и моменту подачи топлива в цилиндры двигателя.

Классификация и системы различных способов впрыска топлива приведены на рис. 7.2 и 7.3.

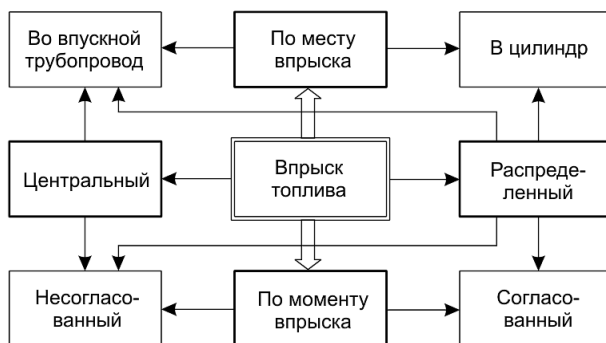


Рис. 7.2. Классификация способов впрыска топлива

При центральном впрыске (рис. 7.3, а) топливо подается одной форсункой 5, устанавливаемой на участке до разветвления впускного трубопровода 4. По сравнению с карбюраторной системой питания существенных изменений в конструкции двигателя нет, т. е. система центрального впрыска практически взаимозаменяема с карбюратором и может применяться на уже эксплуатируемых двигателях.

Обозначению «центральный впрыск топлива» соответствуют также термины «одноточечный впрыск» и «моновпрыск».

При распределенном (многоточечном) впрыске топливо подается индивидуальными для каждого цилиндра форсунками 5 (рис. 7.3, б, в). При этом возможны два места подачи топлива: перед впускными клапанами каждого цилиндра или непосредственно в цилиндры двигателя. Если в первых системах впрыск топлива возможен как без согласования момента впрыска с процессами впуска в каждый цилиндр (несогласованный впрыск), так и согласованный с открытием соответствующих впускных клапанов, то во вторых системах возможен только согласованный впрыск.

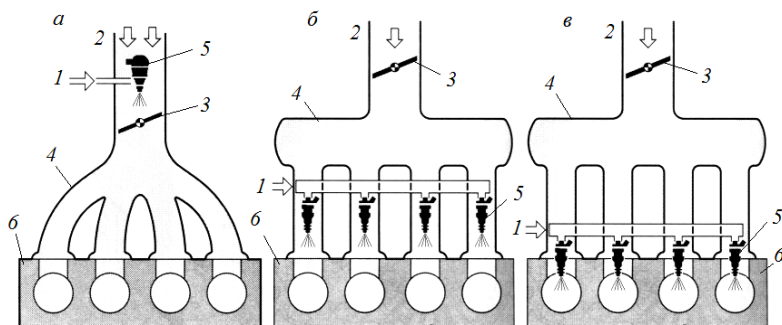


Рис. 7.3. Системы впрыска топлива: а – центральный впрыск; б – распределенный впрыск; в – непосредственный впрыск; 1 – подача топлива; 2 – поступление воздуха; 3 – дроссельная заслонка; 4 – впускной коллектор; 5 – форсунки; 6 – двигатель

С целью различия двух систем распределенного впрыска топлива принята следующая терминология. Для системы с подачей топлива в зону впускных клапанов (рис. 7.3, б) используется термин «распределенный впрыск», а для системы с подачей топлива непосредственно в цилиндры двигателя (рис. 7.3, в) – термин «непосредственный впрыск».

По сравнению с карбюраторными системами питания двигателя с впрыском бензина имеют следующие преимущества:

1) топливо равномернее распределяется по цилиндрам, что дает возможность поддерживать одинаковый состав смеси в цилиндрах, вследствие чего повышается экономичность двигателя. При однородном составе смеси в цилиндрах снижается разброс показателей их работы, уменьшаются вибрация и износ деталей;

2) уменьшается сопротивление впускного тракта благодаря отсутствию карбюратора, улучшается наполнение цилиндров рабочей смесью или воздухом, что увеличивает экономичность и мощность двигателя;

3) можно несколько повысить степень сжатия двигателя вследствие более однородного состава смеси в цилиндрах и возможности организовать продувку (для систем с распределенным циклическим впрыском топлива);

4) достигается более точная, чем при карбюраторном смесеобразовании, коррекция состава смеси при переходе двигателя с одного режима на другой, чем обеспечивается лучшая приемистость и экономичность двигателя;

5) в отработавших газах содержится меньшее количество окислов углерода, а также других вредных веществ;

6) упрощается решение проблемы нейтрализации токсичных компонентов отработавших газов, поскольку применение хорошо отрегулированной системы впрыска позволяет использовать только один каталитический трехкомпонентный нейтрализатор и избежать применения более сложных систем нейтрализации, таких, как рециркуляция отработавших газов, подача дополнительного воздуха для дожигания горючих компонентов отработавших газов;

7) при электронном управлении впрыском облегчается возможность отключения подачи топлива на режимах принудительного холостого хода, что значительно уменьшает расход топлива;

8) создаются предпосылки для оптимального управления работой двигателя на всех режимах с применением микропроцессорной техники.

Наряду с указанными преимуществами системы впрыска бензина обладают некоторыми существенными недостатками.

1. Эти системы сложнее, чем карбюраторные системы питания. Наличие прецизионных деталей и чувствительной автоматики для регулирования и корректирования состава смеси обуславливает более высокую стоимость систем впрыска по сравнению с карбюраторными системами.

2. Эксплуатация таких систем сложнее эксплуатации карбюраторных систем питания. Регулирование и устранение неисправностей в системе должны производиться высококвалифицированным персоналом.

Указанные недостатки до недавнего времени обуславливали ограниченное применение систем питания с впрыском топлива. Однако в связи с бурным развитием средств электроники и повышением их надежности, а также значительной экономией топлива системы впрыска бензина получили широкое применение на автомобильных двигателях.

Система центрального впрыска. Система центрального впрыска (моновпрыск) относится к системам впрыска топлива бензиновых двигателей. Работа системы основана на впрыске топлива одной форсункой во впускном тракте между воздухоочистителем и разветвлениями впускного коллектора, по которым рабочая смесь поступает к отдельным цилиндрам двигателя.

Блок центрального впрыска топлива (рис. 7.4) включает в себя смешительную камеру с дроссельной заслонкой 8, форсунку 7, расположенную над дроссельной заслонкой, регулятор давления 5 и регулятор холостого хода 2.

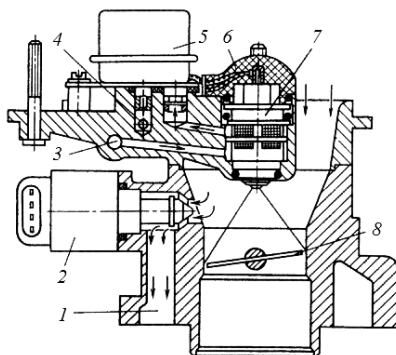


Рис. 7.4. Блок центрального впрыска топлива: 1 – канал холостого хода; 2 – регулятор холостого хода; 3 – канал подвода топлива; 4 – канал отвода топлива; 5 – регулятор давления топлива; 6 – штекер форсунки; 7 – электромагнитная форсунка; 8 – дроссельная заслонка

Форсунка 7 впрыскивает топливо в зону над дроссельной заслонкой 8, где происходит образование рабочей смеси. Регулирование количества смеси основано на изменении положения дроссельной заслонки. В режиме холостого хода управление осуществляется с помощью регулятора холостого хода 2, воздействующего на клапан обводного канала 1 или непосредственно на дроссельную заслонку, приоткрывая ее в случае падения частоты вращения меньше допустимой.

Регулятор давления 5 поддерживает постоянное рабочее давление в системе впрыска (0,1 МПа). Кроме того, с помощью регулятора в системе после выключения двигателя сохраняется остаточное давление, что препятствует образованию воздушных пробок и облегчает пуск.

Форсунка 7 обеспечивает точную дозировку топлива и его оптимальное распыление во впускном коллекторе. Продолжительность впрыска топлива форсункой синхронизирована по фазе с углом опережения зажигания. При формировании каждого сигнала «момент зажигания» контроллер выдает электрический импульс в обмотку 2 форсунки (рис. 7.5), через клапан 4 открывается доступ топлива к распылителю 5 и оно распыляется через шесть сопловых отверстий во впускной коллектор.

Типичной системой центрального впрыска является система Mono-Jetronic фирмы Bosch с электронным блоком управления (ЭБУ).

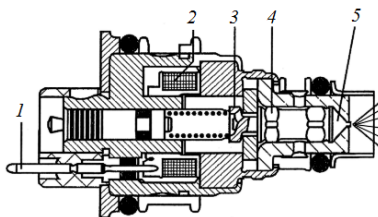


Рис. 7.5. Форсунка системы впрыска:

1 – штекер; 2 – обмотка; 3 – якорь;
4 – клапан; 5 – распылитель

Системы распределенного впрыска. В системах распределенного впрыска топлива в отличие от систем центрального впрыска топливо к отдельным цилиндрам двигателя подается во впускной коллектор индивидуальными форсунками (рис. 7.6).

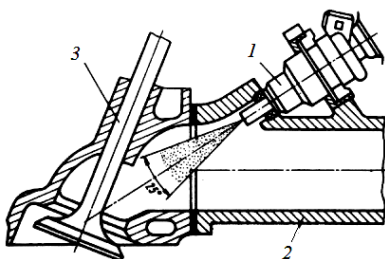


Рис. 7.6. Схема расположения форсунки при распределенном впрыске топлива: 1 – форсунка;

2 – впускной трубопровод;
3 – впускной клапан

В настоящее время система распределенного впрыска топлива является наиболее распространенной на автомобильных двигателях, причем наибольшее распространение получили системы с пневмомеханическим и электронным управлением топливоподачей. В первых системах дозирование топлива и распределение его по форсункам осуществляется специальным дозатором-распределителем, во вторых топливо к форсункам поступает из единой распределительной магистрали, а количество впрыскиваемого топлива определяется электронным блоком управления.

Среди пневмомеханических систем распределенного впрыска топлива наибольшее распространение получила система K-Jetronic (рис. 7.7) фирмы Bosch, которая представляет собой пневмомеханическую систему непрерывного впрыска топлива.

Топливо из бака 9 под давлением, развиваемым топливным насосом 11, через аккумулятор (накопитель) 12, который поддерживает

постоянное давление в системе, и фильтр 10 подается через канал *A* в нижние камеры дозатора-распределителя 6 и прижимает мембранные клапаны к топливопроводам подачи топлива к форсункам 1.

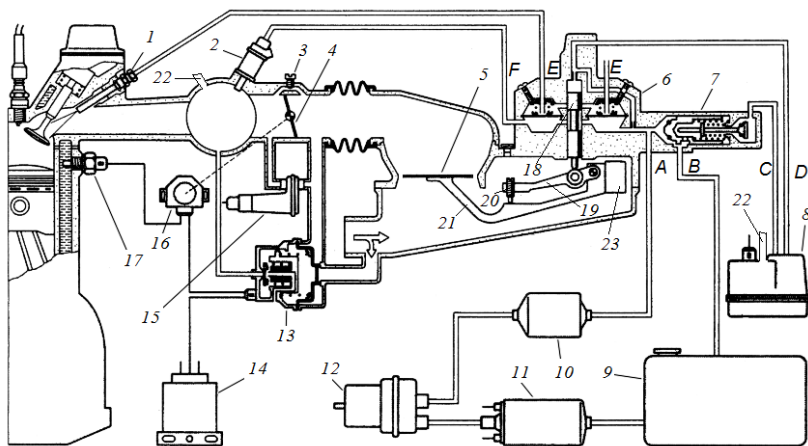


Рис. 7.7. Схема системы впрыска топлива K-Jetronic: 1 – рабочая форсунка; 2 – пусковая форсунка; 3 – регулировочный винт холостого хода; 4 – дроссельная заслонка; 5 – измеритель расхода воздуха (напорный диск); 6 – дозатор-распределитель; 7 – регулятор давления топлива; 8 – регулятор управляющего давления; 9 – топливный бак; 10 – топливный фильтр; 11 – топливный насос; 12 – аккумулятор топлива; 13 – ограничитель частоты вращения; 14 – датчик частоты вращения; 15 – клапан обводного канала; 16 – датчик положения дроссельной заслонки; 17 – термореле; 18 – управляющий плунжер дозатора-распределителя; 19 – рычаг; 20 – винт регулировки состава (качества) смеси; 21 – рычаг измерителя расхода воздуха; 22 – штуцер впускного коллектора; 23 – противовес. Каналы: *A* – подвод топлива к дозатору-распределителю; *B* – слив топлива в бак; *C* – канал дозатора; *D* – канал управления прогревом; *E* – подвод топлива к рабочим форсункам; *F* – подвод топлива к пусковой форсунке

В зависимости от положения плунжера 18, который имеет управляющие кромки, топливо может поступать и в верхние камеры дозатора-распределителя 6. Перемещение плунжера 18 дозатора-распределителя изменяется в зависимости от количества воздуха, проходящего через напорный диск расходомера 5, рычагом 19.

Приготовление рабочей смеси заключается в измерении расхода воздуха и пропорциональном дозировании топлива и осуществляется с помощью регулятора состава рабочей смеси. Он состоит из измерителя расхода воздуха 5 и дозатора-распределителя топлива 6.

Измеритель расхода воздуха работает по принципу ротаметра – в воздушном потоке находится вывешенный поплавок (напорный диск 5), поднимаемый восходящим потоком воздуха. Вес напорного диска 5 и рычага 21 скомпенсирован противовесом 23. На оси вращения рычага 21 напорного диска 5 закреплен второй рычаг 19 с роликом. Ролик упирается непосредственно в нижний конец плунжера 18 дозатора-распределителя 6. Наличие второго рычага с регулировочным винтом 20 позволяет менять относительное положение рычагов и этим изменять состав рабочей смеси.

При пуске двигателя топливный электронасос 11 практически мгновенно создает давление в системе. Если двигатель прогрет (температура не ниже 35 °С), термореле 17 выключает электромагнитную пусковую форсунку 2.

В момент пуска холодного двигателя и в течение определенного времени пусковая форсунка 2 впрыскивает во впускной коллектор дополнительное количество топлива.

Клапан 15 добавочного воздуха обеспечивает подвод к двигателю дополнительного количества воздуха для повышения частоты вращения коленчатого вала холодного двигателя на холостом ходу.

Дополнительное обогащение горючей смеси при пуске и прогреве холодного двигателя достигается за счет более свободного подъема плунжера 18 дозатора-распределителя благодаря тому, что регулятор управляющего давления 8 снижает над плунжером противодействующее давление возврата.

Таким образом, если двигатель уже прогрет, то питание осуществляется только через главную дозирующую систему и систему холостого хода, при этом термореле 17, электромагнитная пусковая форсунка 2 и клапан добавочно воздуха 15 в работе не участвуют.

Пусковая форсунка (рис. 7.8) приводится в действие с помощью электромагнита 2, внутри которого расположен электромагнитный якорь 4, нижняя часть которого представляет собой топливный клапан. В исходном положении подвижный якорь 4 прижимается пружиной 3 к уплотнению и тем самым перекрывает подачу топлива.

При возбуждении электромагнита 2 якорь 4 поднимается от своего седла и освобождает проход для топлива. По касательной топливо попадает в центробежный распылитель 6, завихряющий поток топлива. Распылитель мелко распыляет топливо и обогащает топливом воздух во впускном трубопроводе за дроссельной заслонкой. Угол распыления топлива составляет 80°.

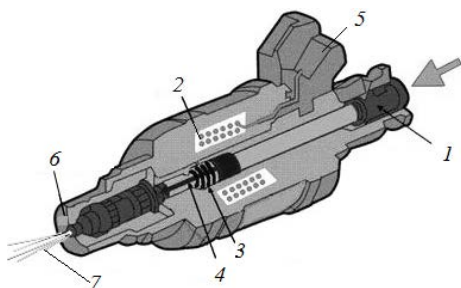


Рис. 7.8. Пусковая форсунка:
 1 – канал подвода топлива с фильтрующей сеткой;
 2 – электромагнит; 3 – пружина;
 4 – электромагнитный якорь;
 5 – коробка электрического подключения; 6 – центробежный распылитель; 7 – распыленное топливо

Пусковая форсунка расположена во впускном трубопроводе так, чтобы обеспечивалось равномерное распределение горючей смеси по цилиндрам.

Электромагнитная пусковая форсунка работает совместно с тепловым реле времени, которое управляет ее электрической цепью в зависимости от температуры двигателя и продолжительности его запуска.

Схема работы дозатора-распределителя представлена на рис. 7.9.

Дозатор-распределитель (рис. 7.9, *а*) дозирует и распределяет топливо, поступившее через фильтр от насоса к каналу *А*, к форсункам (инжекторам) цилиндров двигателя (каналы *Е*). Перемещение плунжера распределителя происходит в соответствии с перемещениями напорного диска 5 (см. рис. 7.7) расходомера воздуха, который, в свою очередь, перемещается в соответствии с расходом воздуха или открытием дроссельной заслонки.

При небольшом ходе напорного диска плунжер распределителя *11* поднимается на небольшое расстояние (рис. 7.9, *б I*), поэтому открывает дозирующие щели *14* не полностью. При большом ходе напорного диска распределитель освободит большее сечение дозирующих щелей (рис. 7.9, *б II*). Таким образом, существует линейная (прямо пропорциональная) зависимость между перемещением напорного диска и освобождением проходного сечения дозирующих щелей *14*, через которые проходит топливо. Это означает, что при подаче двойного количества воздуха перемещение напорного диска увеличивается вдвое. Для того чтобы количество подаваемого к форсункам топлива также изменялось в прямой пропорции с изменением количества расходуемого воздуха, поддерживается постоянный перепад давления на переходных сечениях дозирующих щелей независимо от количества протекающего топлива.

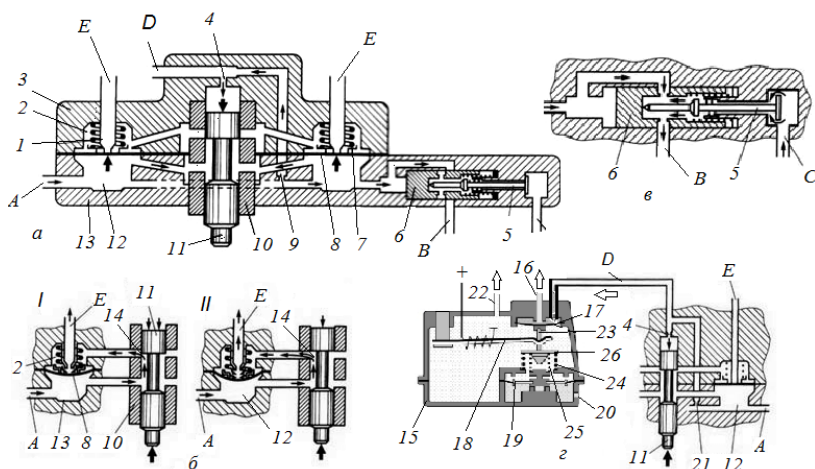


Рис. 7.9. Схема работы дозатора-распределителя с регулятором давления питания:
а – дозатор-распределитель с регулятором давления питания; *б* – схема регулирования подачи топлива (*I* – малая доза впрыска, *II* – большая доза впрыска); *в* – схема работы регулятора давления при сливе; *з* – полная нагрузка; 1 – трубка к форсунке впрыска; 2 – верхняя камера дифференциального клапана; 3 – верхний корпус дифференциального клапана; 4 – демпфирующий дроссель; 5 – толчковый клапан; 6 – поршень регулятора давления; 7 – пружина дифференциального клапана; 8 – диафрагма дифференциального клапана; 9, 21 – дроссель подпитки; 10 – гильза распределителя; 11 – плунжер распределителя; 12 – нижняя камера дифференциального клапана; 13 – нижний корпус дифференциального клапана; 14 – дозирующая щель; 15 – регулятор управляющего давления; 16 – трубка канала слива топлива; 17 – верхний диафрагменный клапан; 18 – биметаллическая пластинчатая пружина; 19 – нижняя диафрагма; 20 – атмосферный штуцер; 22 – штуцер впускного коллектора; 23 – шток; 24 – наружная пружина; 25 – внутренняя пружина; 26 – клапан. Каналы: *A* – подвод топлива к дозатору-распределителю; *B* – слив топлива в бак; *C* – канал дозатора; *D* – канал управления прогревом; *E* – подвод топлива к рабочим форсункам

Однако, кроме того, что на плунжер 11 снизу действует рычаг напорного диска, сверху плунжер распределителя подвергается воздействию управляющего давления, величина которого влияет на процесс дозирования топлива. Низкое давление всасываемого воздуха может приводить к дальнейшему подъему напорного диска. Как следствие, плунжер распределителя 11 еще больше открывает дозирующие щели 14, подавая к двигателю большее количество топлива. Увеличивая давление на верхнюю часть плунжера распределителя 11 (повышая величину управляющего давления) всасываемый воздух уже

не в состоянии высоко поднимать напорный диск, и, следовательно, к двигателю поступает меньше топлива. Таким образом, изменением величины управляющего давления можно изменять коэффициент избытка воздуха для повышения мощности двигателя на максимальных оборотах, а также обогащать горючую смесь при пуске холодного двигателя.

Регулятор управляющего давления (рис. 7.9, *з*), установленный на выпускном коллекторе таким образом, что его элементы приобретают температуру двигателя, изменяет величину управляющего давления, воздействующего на плунжер распределителя, в зависимости от температуры двигателя.

Регулятор управляющего давления 15 измеряет управляющее давление в основном на режимах холодного пуска, прогрева на холостом ходу и полной нагрузки.

Регулятор управляющего давления состоит, прежде всего, из верхнего подпружиненного клапана диафрагменного типа 17 и биметаллической пружины 18, на которой установлен нагревательный элемент с предварительным натягом наружной 24 и внутренней 25 пружин, штока 23, связывающего клапаны 26 и 17. Внешняя пружина 24 упирается в корпус регулятора управляющего давления и подпирает диафрагму клапана 17. Внутренняя же пружина 25 упирается в нижнюю диафрагму 19, которая делит регулятор управляющего давления 15 на верхнюю и нижнюю вакуумные камеры.

В холодном состоянии биметаллическая пружина 18 давит на клапан 26, перемещая шток 23 вниз, тем самым сжимая дополнительно пружины 24 и 25, а следовательно, ослабляя нажим на верхний диафрагменный клапан 17. Это приводит к тому, что выходное сечение трубки канала слива топлива 16 увеличивается в этом месте и больше топлива стравливается из контура управляющего давления, что приводит к снижению давления на плунжер 11 и, как следствие, увеличению подачи топлива. По мере работы двигателя тепло блока цилиндров и нагревательный элемент нагревают биметаллическую пружину 18. Биметаллическая пружина выгибается в обратную сторону и таким образом уменьшает нажим на клапан 26, пружины 24 и 25 разгружаются и перемещают клапан 26 и связанный с ним шток 23 вверх. Выходное сечение верхнего диафрагменного клапана 17 уменьшается, меньше топлива стравливается из контура управляющего давления, и абсолютное значение управляющего давления увеличивается. Полный прогревочный цикл регулятора управляющего давления завершается, когда

биметаллическая пружина 18, выгнувшись в обратную сторону, полностью убирает нажим с пружин 24 и 25 и клапана 26.

Двигатели, работающие на режиме частичной нагрузки на предельно обедненных смесях, требуют при переходе на режим полной нагрузки обогащения смеси, что обеспечивается величиной управляющего давления в зависимости от разрежения во впускном трубопроводе. В верхней камере, которая соединена с впускным трубопроводом каналом 22, расположенным за дроссельной заслонкой, действует разрежение впускного трубопровода. Нижняя камера соединяется с атмосферой либо непосредственно через штуцер 20, либо через воздушный фильтр (в зависимости от конструкции регулятора).

На режимах холостого хода и частичной нагрузки (дроссельная заслонка 4 прикрыта, см. рис. 7.7) создается высокое разрежение во впускном трубопроводе, нижняя диафрагма 19, подпираемая атмосферным давлением, и связанный с ней через шток 23 верхний диафрагменный клапан 17 стремятся занять верхнее положение, при этом внутренняя пружина 25 получает максимальное предварительное натяжение. Следовательно, предварительным усилием пружин 25 и 24 задается определенная величина управляющего давления (около 0,37 МПа) на режимах частичной и полной нагрузки двигателя. Для сравнения – величина управляющего давления при полностью исправном регуляторе управляющего давления должна составлять около 0,05 МПа сразу после пуска холодного двигателя.

При достижении режима полной нагрузки дроссельная заслонка открывается на большую величину и разрежение во впускном трубопроводе снижается. Внутренняя пружина 25 клапана разгружается, заставляя диафрагму 19 перемещаться вниз, управляющее давление снижается до нормы, и результатом этого является обогащение смеси.

Дифференциальные клапаны (рис. 7.9, а), расположенные между распределителем и выходными каналами *Е*, поддерживают постоянную разницу давлений между верхней 2 и нижней 12 камерами независимо от количества пропускаемого воздуха. Эта разница давлений составляет 0,01 МПа. Благодаря дифференциальным клапанам возможно повышение точности дозирования топлива.

Дифференциальный клапан – это клапан с двумя камерами с разным уровнем давления, разделенный гибкой диафрагмой.

Нижние камеры 12 дифференциальных клапанов соединены кольцевым каналом и находятся под рабочим давлением. На стальную диафрагму 8 снизу действует рабочее давление, а сверху – сила сжатия

пружины 7, упирающейся вверху в корпус 3, а внизу – в специальное седло и диафрагму 8.

При поступлении топлива в верхнюю камеру 2 (рис. 7.9, б) к усилии пружины 7 добавляется давление топлива, и диафрагма прогибается вниз, увеличивая проходное сечение канала трубки 1 подвода топлива к форсунке. В результате давление в верхней камере падает, диафрагма поднимается вверх, тем самым несколько уменьшая проходное сечение трубки 1 и соответственно количество впрыскиваемого топлива, в результате чего получается необходимая линейная зависимость между перемещением плунжера и поступлением топлива к форсункам. Работа дифференциальных клапанов во взаимодействии с перемещением плунжера обеспечивает стехиометрическое соотношение воздуха и бензина в рабочей смеси. Таким образом, данное регулирование состава горючей смеси относится к частичным нагрузкам или обычной работе двигателя (по аналогии с работой главной дозирующей системы карбюратора).

Поскольку двигатель должен быть приспособлен к различным режимам работы (холодный пуск, холостой ход, частичные нагрузки, полная нагрузка и т. д.), то смесь приходится либо обогащать, либо обеднять. Для получения соответствия состава рабочей смеси режиму работы двигателя в системе впрыска со стороны верхней части плунжера в дозатор-распределитель по каналу *D* подводится топливо, давление которого определяется регулятором управляющего давления 8 (см. рис. 7.7). Это давление в зависимости от режима работы двигателя имеет большую или меньшую величину. В первом случае сопротивление перемещению плунжера увеличивается – смесь обедняется. Во втором случае, напротив, сопротивление перемещению плунжера уменьшается – смесь становится богаче.

Регулятор давления (рис. 7.9, з) поддерживает в системе постоянное давление топлива, величина которого регулируется путем увеличения или уменьшения количества прокладок, устанавливаемых под его корпус. В случае повышения давления поршень 6 регулятора давления, сжимая пружину, перемещается вправо и позволяет излишку топлива через канал *B* возвратиться в топливный бак. Давление топлива в системе уравнивается пружиной поршня 6.

В регулятор давления встроены толчковый клапан 5, который приводится в движение поршнем 6 регулятора давления (открывается). Толчковый клапан работает совместно с регулятором управляющего давления 8 (см. рис. 7.7).

При остановке двигателя топливный насос выключается. Давление системы быстро снижается и становится ниже величины давления открытия клапанной форсунки, сливное отверстие закрывается с помощью подпружиненного поршня 6 регулятора давления.

Холостой ход карбюраторных двигателей обычно регулируется двумя винтами: количества и качества смеси. Система питания с впрыском топлива K-Jetronic (см. рис. 7.7) также имеет два винта: винт качества смеси 20, которым регулируется содержание CO в отработавших газах (при его заворачивании смесь обедняется), и винт количества смеси 3, которым устанавливается частота вращения холостого хода.

Система впрыска L-Jetronic – это управляемая электроникой система многоточечного (распределенного) прерывистого впрыска топлива (рис. 7.10).

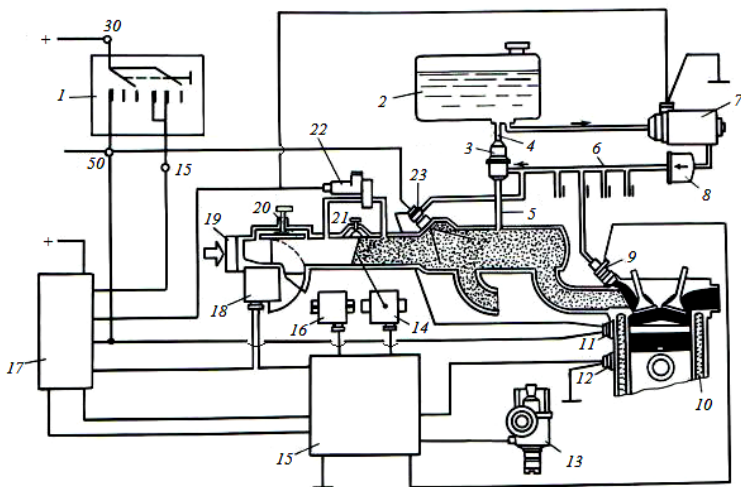


Рис. 7.10. Схема системы впрыска топлива L-Jetronic: 1 – замок зажигания; 2 – топливный бак; 3 – регулятор давления; 4 – топливопровод обратного слива; 5 – трубопровод подвода разрежения; 6 – распределительная магистраль; 7 – топливный насос; 8 – топливный фильтр; 9 – рабочая электромагнитная форсунка; 10 – блок цилиндров двигателя; 11 – температурный датчик включения пусковой форсунки; 12 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 13 – прерыватель-распределитель; 14 – потенциометр дроссельной заслонки; 15 – блок управления; 16 – высотный корректор; 17 – блок реле; 18 – расходомер воздуха; 19 – подвод воздуха; 20 – винт качества смеси (CO); 21 – винт регулировки частоты вращения коленчатого вала; 22 – клапан добавочного воздуха; 23 – пусковая форсунка

Топливный насос с электрическим приводом 7 забирает топливо из бака 2 и подает его под давлением 0,25 МПа через фильтр тонкой очистки 8 к распределительной магистрали 6, соединенной с рабочими форсунками 9. Установленный с торца распределительной магистрали 6, регулятор давления топлива 3 в системе поддерживает постоянное давление впрыска и осуществляет слив излишнего топлива в бак. Этим обеспечивается циркуляция топлива в системе и исключается образование паровых пробок.

Количество впрыскиваемого топлива задается электронным блоком управления 15 в зависимости от температуры, давления и объема поступающего воздуха, частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя, а также от температуры охлаждающей жидкости.

Основным параметром, определяющим дозирование топлива, является объем всасываемого воздуха, измеряемый расходомером (рис. 7.11).

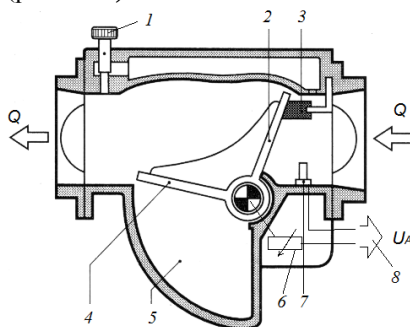


Рис. 7.11. Датчик объемного расхода воздуха: 1 – винт регулирования смеси на холостом ходу; 2 – измерительная заслонка; 3 – стопор; 4 – компенсационная заслонка; 5 – демпфирующая камера; 6 – потенциометр; 7 – датчик температуры воздуха; 8 – сигнал на ЭБУ; Q – количество поступившего воздуха; U_A – выходное напряжение

Поступающий воздушный поток Q отклоняет измерительную заслонку 2 расходомера на определенный угол, потенциометр 6 считывает угловое положение заслонки и преобразует его в величину выходного электрического напряжения U_A для дальнейшей передачи в блок управления 8. ЭБУ 8 определяет необходимое количество топлива в данный момент работы двигателя и подает импульсы тока на электромагнитные клапаны рабочих форсунок 9 (см. рис. 7.10) для впрыска топлива.

На современных автомобилях применяется большое число форсунок различной конструкции, однако принцип их действия одинаков. Все электромагнитные форсунки (рис. 7.12) имеют

подпружиненный запирающий элемент, перекрывающий в нормальном состоянии отверстие для распыления топлива.

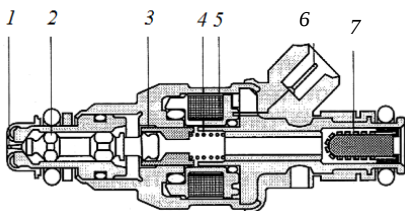


Рис. 7.12. Форсунка системы впрыска L-Jetronic: 1 – штифт; 2 – игла; 3 – якорь; 4 – пружина; 5 – обмотка электромагнита; 6 – электрический контакт; 7 – топливный фильтр

Для отпирания этого отверстия используется вытягивающее усилие соленоида. Различные форсунки отличаются в основном лишь конструкцией распылителя, определяющей число струй, угол распыления и размер частичек топлива. Быстродействие форсунки в основном определяется массой запирающего элемента, жесткостью пружины и индуктивностью вытягивающей обмотки. Быстродействующие форсунки имеют малое сопротивление обмотки (3–5 Ом).

Клапан дополнительной подачи воздуха 22 (см. рис. 7.10), установленный в воздушном канале, выполненном параллельно дроссельной заслонке, подводит к двигателю добавочный воздух при холодном пуске и прогреве двигателя, что приводит к увеличению частоты вращения коленчатого вала. Для ускорения прогрева используются повышенные обороты холостого хода (более 1000 мин^{-1}).

Для облегчения пуска холодного двигателя, так же как и в других рассмотренных системах впрыска, здесь применяется электромагнитная пусковая форсунка 23, продолжительность открытия которой изменяется в зависимости от температуры охлаждающей жидкости с помощью температурного датчика 11.

При запуске холодного двигателя в цилиндры поступает повышенное количество топлива, в то время как дроссельная заслонка прикрыта и воздуха для работы двигателя недостаточно. В это время по сигналу блока управления 15 открывается клапан дополнительной подачи воздуха 22, подающий воздух во впускной трубопровод, минуя дроссельную заслонку, что обеспечивает устойчивую работу двигателя во время прогрева.

Таким образом, объем проходящего воздуха полностью определяется положением дроссельной заслонки (нагрузкой двигателя). Ин-

формацию о нагрузочном режиме двигателя в ЭБУ сообщает датчик положения дроссельной заслонки 14 (см. рис. 7.10).

Большую часть времени двигатель работает в режиме частичных нагрузок, поэтому программа, заложенная в ЭБУ, обеспечивает минимально возможный расход топлива при приемлемой концентрации вредных веществ в отработавших газах. Топливную экономичность и (или) минимальную токсичность отработавших газов удастся получить при использовании λ -зондов и нейтрализаторов.

Обогащение смеси происходит при холодном пуске, прогреве, холостом ходе, ускорении движения, полной нагрузке. При всех режимах, кроме последнего, излишек топлива необходим для устойчивой работы двигателя. При холодном двигателе «больше топлива» означает и больше его легкоиспаряющихся фракций. На режиме холостого хода хуже наполнение цилиндров, больше остаточных газов. При полной нагрузке излишек топлива необходим для внутреннего охлаждения двигателя за счет испарения части топлива.

В режиме принудительного холостого хода дроссельная заслонка закрыта и в блок управления идет сигнал «холостой ход». Если при этом обороты двигателя выше так называемой восстанавливаемой частоты вращения, впрыск топлива прекращается. Соответственно уменьшается расход топлива и выброс вредных веществ. Восстанавливаемая частота вращения (когда вновь начинается впрыск топлива) обычно лежит в пределах $1200\text{--}1700\text{ мин}^{-1}$.

Система непосредственного впрыска. В системах непосредственного впрыска топливо подается индивидуальными форсунками прямо в камеру сгорания цилиндров двигателя (рис. 7.13). Давление впрыска топлива в таких системах на порядок выше, чем в других системах.

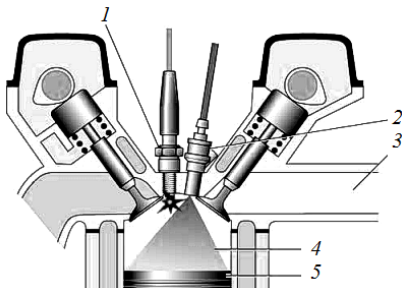


Рис. 7.13. Схема непосредственного впрыска топлива: 1 – свеча зажигания; 2 – форсунка; 3 – впускной трубопровод; 4 – впрыскиваемое топливо; 5 – поршень

Специфика процесса смесеобразования в системах непосредственного впрыска зависит от формы камеры сгорания, расположения форсунки, закона подачи топлива и движения находящегося в камере воздуха. Выбор формы камеры сгорания и размещение свечей зажигания осуществляется с учетом требований, вытекающих из необходимости обеспечения бездетонационной работы двигателя. Одновременно не менее вескими являются и компоновочные соображения, так как в контур камеры сгорания должны быть вписаны седла впускных и выпускных клапанов, количество и площадь проходного сечения которых выбираются достаточными для газообмена в двигателях с впрыском топлива.

Подача топлива в системах непосредственного впрыска производится согласованно с циклом работы двигателя, причем из соображений наилучшего смесеобразования топливо впрыскивается в цилиндр либо во время такта впуска, либо в конце такта сжатия. При размещении форсунки принимается во внимание то, что впрыскиваемое топливо не должно выбрасываться во впускной трубопровод. С другой стороны, направление факела топлива в сторону выпускных клапанов дает возможность несколько улучшить их тепловой режим. Вместе с тем и сам распылитель форсунки нуждается в защите от тепловых перегрузок и сажеобразования.

При непосредственном впрыске обеспечивается наиболее точное распределение топлива по цилиндрам двигателя. В результате удастся добиться наименьшей токсичности отработавших газов, кроме того, появляется возможность эксплуатации двигателя на обедненных смесях, что улучшает топливную экономичность.

Недостатком систем непосредственного впрыска топлива является сокращение времени на смесеобразование, что влечет за собой повышение жесткости и шумности работы двигателя.

7.3. Система питания газовых двигателей

Газовыми называются двигатели, работающие на газообразном топливе – сжатых и сжиженных газах. Особенностью таких двигателей является их способность работать также и на жидких топливах, например бензине.

Система питания для сжиженного газа, работающая по принципу впрыска, используется на двигателях, оборудованных системой впрыска бензина (рис. 7.14).

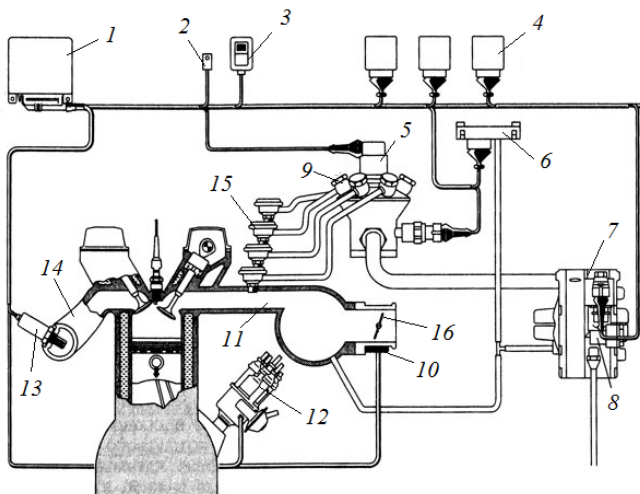


Рис. 7.14. Устройство системы питания на сжиженном газе: 1 – электронный блок управления; 2 – диагностический разъем; 3 – переключатель вида топлива; 4 – блок реле; 5 – электрический дозатор с шаговым электродвигателем; 6 – датчик давления во впускном коллекторе; 7 – редуктор-испаритель; 8 – электромагнитный газовый клапан; 9 – блок распределитель газа; 10 – датчик положения дроссельной заслонки; 11 – впускной коллектор; 12 – прерыватель-распределитель; 13 – лямбда-зонд; 14 – выпускной коллектор; 15 – инжектор; 16 – дроссельная заслонка

Сжиженный нефтяной газ под давлением 1,6 МПа из баллона по газопроводу высокого давления поступает в электромагнитный запорный газовый клапан 8 с фильтром, установленным на двухступенчатом редукторе-испарителе 7. Затем газ поступает в первую ступень редуктора 7, в полости которой происходит снижение давления газа до 0,2 МПа с одновременным переходом газа из жидкого состояния в парообразное. В полости второй ступени завершается переход газа в парообразное состояние, и на выходе из нее создается рабочее давление. Для обеспечения испарения газа и компенсации при этом тепловых потерь в редуктор подается жидкость из системы охлаждения двигателя, которая циркулирует в специальной полости, выполненной в виде теплообменника.

Блок-распределитель газа 9, оснащенный дозатором 5 с шаговым электродвигателем, управляется ЭБУ 1 и обеспечивает подачу газа во впускной коллектор 11 двигателя через форсунки (инжекторы) 15, установленные непосредственно у впускных клапанов. Для поддержа-

ния стехиометрического состава газовой смеси (16:1) по сигналам ЭБУ шаговый электродвигатель дозатора 5 соответствующим образом изменяет проходное сечение его клапана.

В электронный блок управления 1 от датчика абсолютного давления 6 поступает информация о разрежении во впускном трубопроводе, зависящем от степени открытия дроссельной заслонки 16, информация о частоте вращения коленчатого вала от прерывателя-распределителя 12, информация о составе топливовоздушной смеси от лямбда-зонда 13. На основании полученной информации блок управления определяет поворот угол поворота шагового распределителя, регулирующего расход газа, поступающего через форсунки 15 во впускной трубопровод 11.

ЭБУ может работать в двух основных режимах – без обратной связи и с обратной связью.

В первом режиме ЭБУ рассчитывает величину проходного отверстия дозатора на основе главных параметров – частоты вращения коленчатого вала двигателя и давления во впускной трубе. Диапазон составляет 256 шагов, что соответствует 100 % открытия проходного сечения отверстия дозатора. За нулевое положение принято полностью закрытое отверстие для прохода газа из редуктора через дозатор.

Во втором режиме двигатель начинает работать с обратной связью после прогрева лямбда-зонда 13 до температуры 300–350 °С. При этом газ дозируется и с учетом состава отработавших газов.

В ЭБУ встроена диагностическая система. При возникновении неисправности в газовой системе или при выходе из строя какого-либо датчика загорается контрольная лампа на блоке и код ошибки заносится в его память.

Датчик абсолютного давления 6 установлен в моторном отсеке и соединен с впускным коллектором резиновой трубкой. Он представляет собой вакуумную камеру, одна из стенок которой выполнена в виде упругой мембраны. Мембрана кинематически связана с пьезоэлементом, вырабатывающим электрический потенциал при механическом воздействии. Выходное напряжение датчика изменяется в зависимости от давления во впускном коллекторе от 4,9 В (при полностью открытой дроссельной заслонке) до 0,3 В (при закрытой заслонке). При неработающем двигателе ЭБУ по напряжению датчика определяет атмосферное давление и адаптирует параметры регулирования впрыска к конкретной высоте над уровнем моря. Значения атмосферного давления, хранящиеся в памяти, периодически обновляются при равномерном

движении автомобиля и во время полного открытия дроссельной заслонки.

Редуктор-испаритель 7 предназначен для снижения давления газа до необходимого значения и для преобразования его жидкой фазы в газообразную. Надежное испарение обеспечивается за счет обогрева редуктора жидкостью из системы охлаждения двигателя (теплоносителем), независимо от положения клапана термостата.

Электромагнитный газовый клапан 8 объединен с фильтром тонкой очистки, периодичность замены которого зависит от степени его загрязнения. Как правило, фильтрующий элемент заменяют после 30 тыс. км пробега.

Форсунка механическая 15 подает газ во впускной коллектор двигателя в зону впускного клапана. Форсунка диафрагменного типа работает в пассивном режиме, т. е. не управляется ЭБУ, срабатывает за счет избыточного давления в газовой магистрали от блока-распределителя к форсунке.

Пуск двигателя автоматически происходит на бензине, даже если переключатель вида топлива 3 находится в положении «Газ». Затем система плавно переводится на питание газом.

Система питания двигателя, работающего на *сжатом природном газе*, представлена на рис. 7.15.

Система питания состоит из следующих основных составляющих:

- контур высокого давления (заправочный штуцер, трубопроводы, баллоны);
- область перехода от контура высокого давления к стороне низкого давления (редуктор давления газа с клапаном высокого давления для работы на газе и датчиком давления газа);
- контур низкого давления (гибкий шланг, газовая распределительная магистраль, датчик газовой распределительной магистрали, форсунка).

Заправочная газовая горловина 5 оснащена обратным клапаном и металлическим фильтром. Газовые трубопроводы высокого давления 7 изготавливаются из нержавеющей стали и рассчитаны на давление до 100 МПа. Они соединяют приемный патрубок с первым запорным клапаном, все четыре запорных клапана между собой, а также последний запорный клапан с регулятором давления газа. Чтобы обеспечить достаточную герметичность газовых магистралей, отдельные детали на обеих сторонах соединяются при помощи двойного зажимного кольца 13.

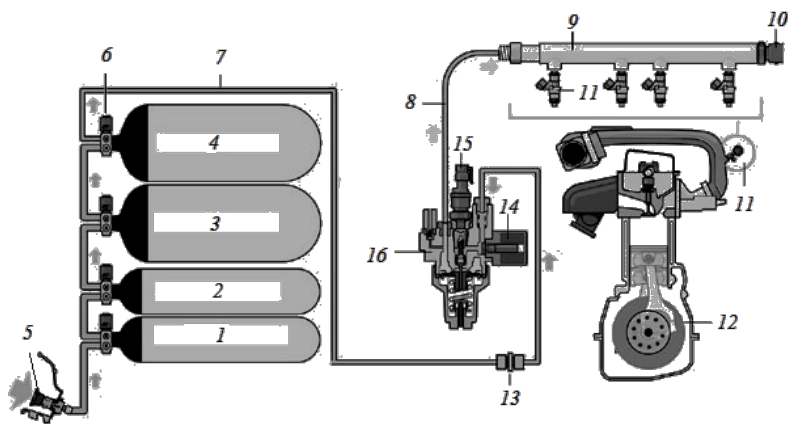


Рис. 7.15. Система впрыска сжатого газа: 1 – газовый баллон с запорным и обратным клапаном; 2, 3, 4 – газовые баллоны с запорным клапаном; 5 – заправочная горловина со встроенным фильтром и обратным клапаном; 6 – запорный клапан с клапаном отключения подачи газа, ограничителем потока газа, термическим предохранителем и запорным краном; 7 – трубопровод высокого давления; 8 – гибкий шланг; 9 – газовая распределительная магистраль; 10 – датчик газовой распределительной магистрали; 11 – форсунка; 12 – двигатель; 13 – двойное зажимное кольцо; 14 – клапан высокого давления; 15 – датчик давления газа; 16 – редуктор давления газа с клапаном высокого давления для работы на газе

При заправке природный газ подается в заправочную горловину со встроенным фильтром и обратным клапаном, далее по газовым магистралям к запорному клапану первого газового баллона. Одновременно с этим газ идет по газовым магистралям к запорному клапану второго газового баллона, оттуда дальше к запорным клапанам остальных баллонов. Из баллонов газ под высоким давлением поступает в редуктор давления газа. Если блок управления двигателя подает сигнал управления, открывается клапан высокого давления 14 редуктора высокого давления для работы на газе.

Редуктор давления газа (рис. 7.16) должен обеспечивать снижение давления газа с 20 до 0,6 МПа. Снижение давления в редукторе происходит в ступени понижения давления 1.

Клапан высокого давления для работы на газе 7 представляет собой соленоид и при подаче на него напряжения или отсутствии такового открывает или закрывает доступ к ступени понижения давления газа

регулятора давления газа. В обесточенном состоянии клапан высокого давления для работы на газе закрыт.

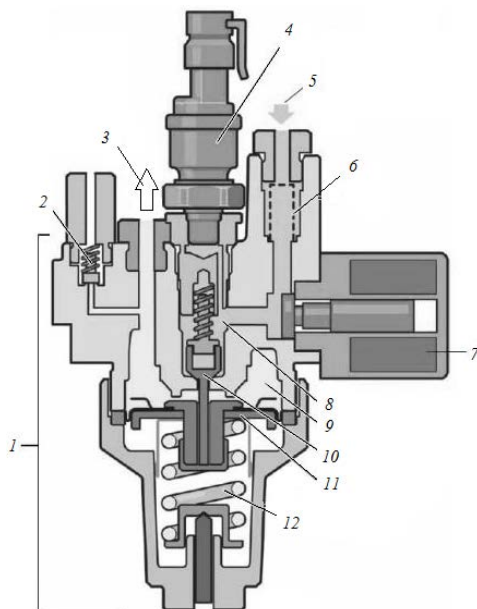


Рис. 7.16. Редуктор давления газа:
1 – ступень понижения давления;
2 – клапан избыточного давления;
3 – выход газа при низком давлении к двигателю; 4 – датчик давления в баллоне; 5 – вход газа при высоком давлении из газовых баллонов; 6 – фильтр; 7 – клапан высокого давления для режима эксплуатации на газе; 8 – камера высокого давления; 9 – камера низкого давления; 10 – поршень редуктора; 11 – мембрана; 12 – пружина

Датчик давления 4 в газовом баллоне измеряет текущее давление газа в системе на стороне высокого давления. Благодаря этим показаниям блок управления двигателя распознает уровень наполненности баллона.

В камере низкого давления 9 происходит переход давления газа от высокого давления к низкому. Если клапан высокого давления для работы на газе открыт блоком управления двигателя, газ под высоким давлением поступает к поршню редуктора 10 в камере высокого давления 8. Поршень редуктора соединен с камерой низкого давления посредством подпружиненной мембраны 11.

Если давление газа в камере низкого давления меньше 0,6 МПа, то мембрана 11 и поршень 10 силой пружины 12 поднимаются вверх. Поршень 10 открывает канал, соединяющий камеру высокого давления 8 с камерой низкого давления 9, куда и поступает газ. Благодаря поступающему газу повышается давление в камере низкого давле-

ния 9. Как только давление достигает 0,6 МПа, мембрана под действием давления возвращается в нижнее положение, преодолевая усилие пружины. Поршень, соединенный с мембраной, закрывает соединение с камерой высокого давления 8. Если происходит потребление газа двигателем, то давление в камере низкого давления падает. Пружина выталкивает мембрану опять вверх, поршень вновь открывается, и газ снова поступает в камеру низкого давления.

Газовая распределительная магистраль оснащена электрическими форсунками подачи газа 11 (см. рис. 7.15), расположенными во впускных каналах цилиндров, а также датчиком газовой распределительной магистрали 10.

Смесеобразование в режимах работы на газе и на бензине регулируется блоком управления двигателя по сигналам лямбда-зонда. Лямбда-зонд определяет состав отработавших газов и посылает полученные результаты на блок управления двигателя, который рассчитывает требуемые пропорции смеси (воздуха и газа) и изменяет время открытия клапанов подачи газа.

Клапаны отключения подачи газа являются составной частью запорных клапанов 6 (см. рис. 7.15) и перекрывают доступ к газовым баллонам от блока управления двигателя. При эксплуатации автомобиля на газе они открываются блоком управления двигателя, а в процессе заправки – от заправочного давления природного газа.

Запуск двигателя при температуре охлаждающей жидкости ниже 15 °С осуществляется в режиме работы на бензине, а при температуре охлаждающей жидкости выше 15 °С – на газе.

Контрольные вопросы

1. Назначение, основные части и работа системы питания карбюраторного двигателя.
2. В чем заключается сущность процесса смесеобразования в карбюраторных двигателях?
3. Какие требования предъявляются к карбюраторам?
4. Устройство и принцип работы простейшего карбюратора.
5. Какие основные недостатки имеет система питания карбюраторного двигателя?
6. Какие системы впрыска используют на современных автомобилях?

7. Объясните структуру и принцип действия основных систем впрыскивания бензина.

8. Как работает система центрального впрыска?

9. Как работает система распределенного впрыска?

10. Достоинства и недостатки системы непосредственного впрыска.

11. Что значит дискретный впрыск?

12. Какие датчики устанавливают в системах впрыска топлива?

13. Устройство и принцип работы электромагнитной форсунки систем впрыска бензина.

14. Топливные насосы каких типов используются в системах впрыска бензина?

15. Объясните назначение и принцип работы датчика положения дроссельной заслонки.

16. Объясните принцип работы расходомера воздуха.

17. Объясните назначение и принцип работы датчика кислорода (λ -зонда).

18. Объясните назначение и принцип работы датчиков давления и температуры воздуха.

19. Каковы особенности конструкции систем питания двигателей, работающих на сжатом и сжиженном газе?

20. Работа редуктора на различных режимах (пуск, холостой ход, нагрузки).

21. Почему в конструкции газобаллонной установки устанавливают фильтры?

22. Назначение и принцип работы испарителя.

23. Сколько и какие вентили установлены на баллоне с газом?

24. Назначение электронного блока управления.

25. Сколько систем газобаллонного оборудования существует?

26. Назовите основные части системы питания, находящиеся под высоким давлением.

27. Назовите основные части системы питания, находящиеся под давлением, близким к атмосферному.

28. Каким образом контролируется уровень сжиженного и сжатого газа в баллоне?

29. Достоинства и недостатки автомобиля с газобаллонным оборудованием.

30. Как перевести работу двигателя с бензина на газ и обратно?

8. СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Дизельный двигатель является двигателем с внутренним смесеобразованием, так как горючая смесь готовится непосредственно в камере сгорания.

Система питания дизельного двигателя состоит из топливоподводящей и воздухоподводящей аппаратуры. Наибольшее распространение получила топливоподводящая аппаратура разделительного типа. В ней топливный насос и форсунки выполнены отдельно. Подача топлива осуществляется по одной из двух магистралей: высокого давления и низкого. Магистраль низкого давления предназначена для хранения топлива, фильтрации его и подачи под низким давлением к насосу высокого давления. Магистраль высокого давления обеспечивает подачу и впрыск необходимого количества топлива в камеры сгорания двигателя в определенный момент (рис. 8.1).

Топливоподкачивающий насос 5 подает топливо из бака 1 через фильтры грубой 2 и тонкой 7 очистки по топливопроводам низкого давления 3 к топливному насосу высокого давления 4 (ТНВД). ТНВД подает топливо по трубопроводам высокого давления 6 к форсункам 13 под высоким давлением в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя. Форсунки располагаются в головках цилиндров двигателя. Они предназначены для распыления топлива в камеры сгорания двигателя. Топливоподкачивающий насос 5 подает к ТНВД топлива больше, чем необходимо, его избыток и попавший в систему воздух отводятся обратно в топливный бак по дренажным трубопроводам 14.

Воздухоподводящий тракт включает воздухоочиститель 8 и патрубки, соединяющие воздухоочиститель с турбокомпрессором 16, охладителем наддувочного воздуха 18 и впускным коллектором 11.

Воздух под действием разрежения, создаваемого турбокомпрессором дизеля, проходя через воздухоочиститель, очищается от пыли и поступает в нагнетательную часть турбокомпрессора, откуда под давлением, проходя через охладитель наддувочного воздуха, подается в цилиндры дизеля.

Для контроля за степенью засоренности воздухоочистителя и определения необходимости проведения технического обслуживания во впускном тракте дизеля установлен датчик сигнализатора засоренности воздушного фильтра. Воздухоочиститель и датчик сигнализатора засоренности устанавливает потребитель.

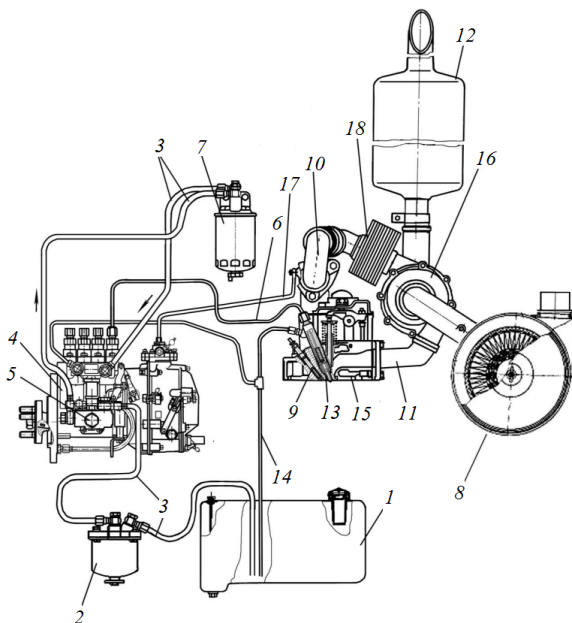


Рис. 8.1. Схема системы питания дизеля: 1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки топлива; 3 – трубки топливные низкого давления; 4 – топливный насос высокого давления; 5 – топливоподкачивающий насос; 6 – трубки топливные высокого давления; 7 – фильтр тонкой очистки топлива (неразборный); 8 – воздухоочиститель; 9 – свеча накаливания; 10 – впускной коллектор; 11 – выпускной коллектор; 12 – глушитель; 13 – форсунка; 14 – трубка отвода топлива в бак; 15 – головка цилиндров; 16 – турбокомпрессор; 17 – трубка пневмокorrectора; 18 – охладитель наддувочного воздуха

Топливный бак изготавливают из обычной листовой стали. Вместимость бака обеспечивает непрерывную работу дизеля с полной нагрузкой в течение 8–10 ч. В верхней боковой части бака имеется заливная горловина с сетчатым фильтром и крышкой, через которую в бак по мере истечения топлива поступает воздух. В жаркую погоду через это отверстие выходят в атмосферу пары топлива. У некоторых двигателей крышки горловин снабжены паровоздушным клапаном.

Фильтры грубой (рис. 8.2) и тонкой (рис. 8.3) очистки топлива в системе питания предназначены для удаления из топлива механиче-

ских примесей и воды. Фильтр грубой очистки устанавливается между топливным баком и подкачивающей помпой.

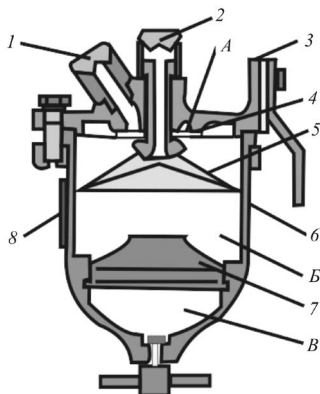


Рис. 8.2. Фильтр грубой очистки ФГ-1:
1, 2 – полые болты; 3 – корпус;
4 – распределитель; 5 – фильтрующий элемент; 6 – стакан; 7 – успокоитель; 8 – табличка с инструкцией; A, B, B – полости фильтра

На дизелях для грубой очистки топлива устанавливают унифицированные фильтры-отстойники ФГ-1 и ФГ-2, отличающиеся друг от друга размерами.

Топливо, засасываемое топливоподкачивающим насосом через полый болт 1 из бака, заполняет кольцевую полость A в корпусе 3 и через восемь отверстий в распределителе 4 поступает в стакан 6. Поток топлива проходит через кольцевой зазор между фильтрующим элементом 5 и стаканом 6 и направляется в полость B. Основная часть топлива, засасываемая помпой, резко меняет направление своего движения и проходит через сетку фильтрующего элемента 5. Остальная часть топлива движется вдоль стенок стакана 6. Механические примеси и капли воды, имеющие большой удельный вес, стремятся сохранить прямолинейное движение и вместе с потоком топлива проходят через кольцевой зазор между успокоителем 7 и стаканом 6 в полость B отстоя. Успокоитель 7 отделяет полость B, в которой циркулирует топливо, от полости B и обеспечивает эффективную работу фильтра при вибрации, уменьшая попадание отстоя в полость B.

Фильтр тонкой очистки топлива (рис. 8.3) предназначен для удаления мельчайших механических примесей (частицы размером 0,001–0,05 мм). В фильтрах тонкой очистки в качестве фильтрующих элементов обычно используют картонные элементы типа «многолучевая звезда» или пакеты из картонных и фетровых дисков.

В фильтре тонкой очистки топлива сменный фильтрующий элемент 5 надет на центральный стержень 7, приваренный к корпусу 6. Корпус фильтра закрыт крышкой 8, удерживаемой от смещения болтом 4, ввернутым в центральный стержень. Чтобы топливо не могло миновать фильтрующего элемента, он пружиной 2, установленной внизу, прижимается к крышке. Топливо, подаваемое топливоподкачивающим насосом к фильтру тонкой очистки, через отверстие проходит в крышку и заполняет все пространство между корпусом и фильтрующим элементом.

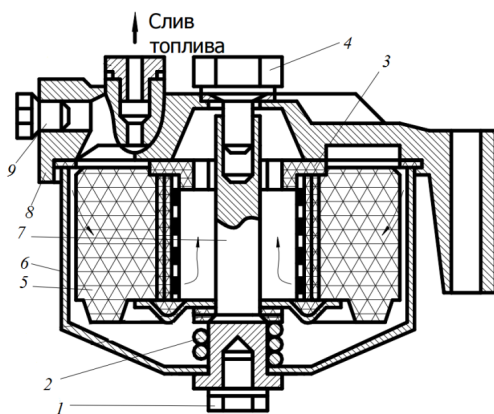


Рис. 8.3. Фильтр тонкой очистки топлива: 1 – пробка; 2 – пружина; 3 – вставка; 4 – болт; 5 – фильтрующий элемент; 6 – корпус; 7 – центральный стержень; 8 – крышка; 9 – пробка для удаления воздуха

Поступающее под давлением топливо просачивается через пористую фильтрующую массу, поднимается вдоль центрального стержня и проходит в крышку. К отверстию присоединен теплоотводящий трубопровод, по которому топливо поступает к насосу высокого давления. Оставшиеся в топливе после фильтра грубой очистки механические примеси задерживаются фильтром тонкой очистки, и часть их осаждается на дно корпуса, имеющего сливное отверстие для удаления отстоя, закрываемое пробкой 1.

С течением времени фильтрующие элементы засоряются и их гидравлическое сопротивление возрастает. Чтобы подача топлива к ТНВД не прекратилась, необходимо фильтр грубой очистки периодически промывать, а фильтрующий элемент фильтра тонкой очистки заменять новым.

В современных системах питания дизельных двигателей в целях предотвращения засорения топливного фильтра кристаллами парафина

устанавливаются топливные фильтры с электроподогревом (рис. 8.4) для нагревания топлива при низких температурах наружного воздуха.

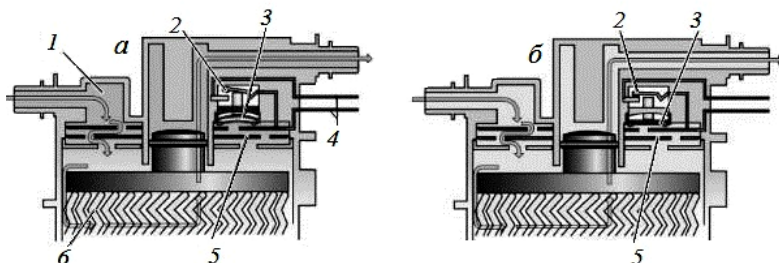


Рис. 8.4. Топливный фильтр с электроподогревом: *а* – обогрев выключен; *б* – обогрев включен; 1 – топливо; 2 – подвижной контакт; 3 – биметаллическая пластина; 4 – провода подвода электроэнергии; 5 – алюминиевые пластины; 6 – фильтрующий элемент

Система обогрева топливного фильтра состоит из алюминиевых пластин 5 и биметаллического контактного выключателя. При высоких температурах окружающего воздуха биметаллическая пластина 3 выгибается и контакты находятся в разомкнутом состоянии, ток на систему обогрева топливного фильтра не подается. При температуре окружающего воздуха от 3 до 8 °С биметаллическая пластина распрямляется и контакты замыкаются. На систему обогрева топливного фильтра подается ток, и при помощи алюминиевых пластин происходит подогрев топлива в топливном фильтре.

Подкачивающий насос предназначен для обеспечения подачи топлива от баков к топливному насосу высокого давления под давлением для преодоления гидравлического сопротивления топливных фильтров.

Как правило, используется подкачивающий насос поршневого типа с плоским толкателем (рис. 8.5), который приводится от эксцентриковой шейки кулачкового вала топливного насоса. Крепится насос на лицевой стороне к корпусу топливного насоса.

В корпусе 1 насоса установлены: впускной 2 и выпускной 3 клапаны с пружинами 4. Поршень (плунжер) 5 приводится в движение через толкатель 6 с роликом 7 эксцентриком 8. Пружина 9 прижимает толкатель к эксцентрику. При движении поршня 5 вверх впускной клапан 2 закрывается, выпускной клапан 3 открывается, топливо из полости *А* через перепускной канал 10 поступает в полость *Б*, объем которой уве-

личивается, и к выходному отверстию насоса *II*. При движении поршня 5 вниз, выпускной клапан 3 закрывается, топливо из полости *Б* вытесняется к выходному отверстию *II*. При этом открывается впускной клапан 2 и полость *А* заполняется топливом. Таким образом, нагнетание топлива происходит только при движении плунжера вниз. При различных режимах работы двигателя переменная подача топлива насосом достигается за счет переменного хода поршня 5.

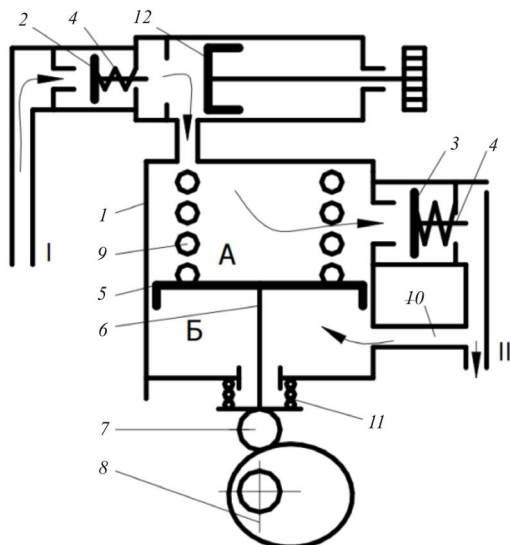


Рис. 8.5. Схема плунжерного топливоподкачивающего насоса: 1 – корпус; 2 – впускной клапан; 3 – выпускной клапан; 4 – пружина клапана; 5 – плунжер; 6 – толкатель; 7 – ролик толкателя; 8 – эксцентрик; 9, 11 – пружины; 10 – перепускной канал; 12 – насос ручной подкачки; I – впускной канал; II – нагнетательный канал; А – надплунжерная полость; Б – подплунжерная полость

Если подачу топлива в цилиндры двигателя уменьшают, в выпускном трубопроводе насоса, а значит, и в полости *Б* под плунжером 5 давление возрастает. В этом случае плунжер не может опуститься вниз даже под действием пружины 9, и толкатель со штоком перемещается вхолостую. По мере расходования топлива давление в нагнетательной полости понижается, и плунжер под действием пружины 9 опять начинает перемещаться вниз, обеспечивая подачу топлива.

Плунжерный топливоподкачивающий насос обычно совмещен с насосом 12 ручной подкачки топлива. Данный насос устанавливается на входе в основной топливоподкачивающий насос и приводится в действие вручную за счет перемещения поршня со штоком. При движении поршня вверх под ним образуется разрежение, открывается впускной клапан, и топливо заполняет подплунжерное пространство. При перемещении поршня вниз впускной клапан закрывается, а нагнетательный открывается, позволяя топливу пройти далее по топливной магистрали. Таким образом, насос ручной подкачки 12 служит для заполнения системы питания топливом и удаления из нее воздуха.

Топливный насос высокого давления предназначен для подачи топлива через форсунки в камеры сгорания под высоким давлением, в определенный момент строго дозированными порциями, соответствующими нагрузке дизеля. Топливный насос объединен в один агрегат с всережимным центробежным регулятором и подкачивающим насосом.

Устройство и принцип действия ТНВД механического типа. Рядные ТНВД относятся к классической аппаратуре впрыскивания дизельного топлива. Рядные ТНВД (рис. 8.6) устанавливаются на стационарные дизели, на двигатели грузовых автомобилей, строительных и сельскохозяйственных машин.

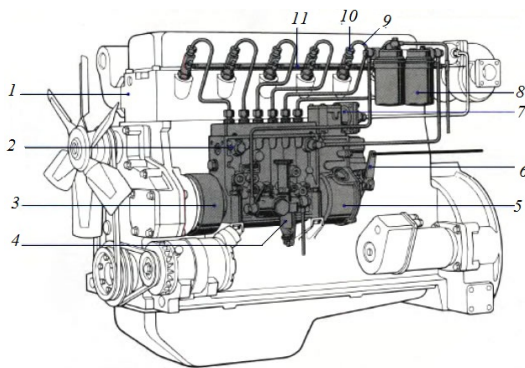


Рис. 8.6. Схема питания дизеля: 1 – дизель; 2 – стандартный рядный ТНВД; 3 – муфта опережения впрыскивания; 4 – топливоподкачивающий насос; 5 – регулятор частоты вращения коленчатого вала; 6 – установочный рычаг с тягой от педали газа; 7 – ограничитель полной подачи, зависимый от давления наддува; 8 – фильтр тонкой очистки топлива; 9 – магистраль высокого давления; 10 – форсунка в сборе; 11 – магистраль обратного слива топлива

Данные насосы позволяют получать высокие цилиндровые мощности у двигателей с числом цилиндров от 2 до 12. В сочетании с регуляторами частоты вращения коленчатого вала, устройствами для изменения угла опережения впрыскивания и различными дополнительными механизмами они обеспечивают потребителю возможность широкого выбора режимов эксплуатации.

Мощность дизеля существенно зависит от количества впрыскиваемого топлива. Рядный ТНВД всегда должен дозировать количество подаваемого топлива в соответствии с нагрузкой. Для хорошей подготовки смеси ТНВД должен дозировать топливо максимально точно, впрыскивая его под очень высоким давлением в соответствии с процессом сгорания.

Оптимальное соотношение расхода топлива, уровней шума работы и содержания вредных веществ в отработавших газах требует точности порядка 1° угла поворота коленчатого вала по моменту начала впрыскивания. Для управления моментом начала впрыскивания и компенсации времени на проход волны давления топлива через подводящую магистраль в стандартном рядном ТНВД используется муфта 3 опережения впрыскивания, которая с увеличением частоты вращения коленчатого вала изменяет момент начала подачи топлива в направлении «франше». В особых случаях предусмотрено управление опережением впрыскивания в зависимости от нагрузки на двигатель. Нагрузка и частота вращения коленчатого вала регулируются изменением величины цикловой подачи топлива. Рядные ТНВД делятся на два типа: стандартные и с дополнительной втулкой.

Рядные ТНВД серии РЕ (рис. 8.7) имеют собственный кулачковый вал 14, который установлен в алюминиевом корпусе.

Кулачковый вал соединяется с двигателем либо непосредственно, либо через соединительный узел и муфту опережения впрыскивания. Количество кулачков на кулачковом валу ТНВД соответствует числу цилиндров двигателя. Над каждым кулачком находится роликовый толкатель 13 с тарелкой 12 пружины 11. Тарелка передает усилие от толкателя на плунжер 8, а пружина возвращает его в исходное положение. Гильза 4 плунжера является направляющей, в которой плунжер совершает возвратно-поступательное движение. Сочетание втулки и плунжера образует насосный элемент, или плунжерную пару.

Плунжерная пара представляет собой поршень (плунжер) и цилиндр (втулка) небольшого размера. Плунжер и втулку изготавливают из высококачественной стали с высокой точностью и в процессе изготов-

ления индивидуально притирают друг к другу, чтобы обеспечить минимальный зазор в сопряжении. Во втулке на разном уровне просверлены два отверстия. Через одно отверстие (впускное) топливо поступает, а через другое (выпускное) отводится. В многоплунжерном насосе число плунжерных пар равно числу цилиндров двигателя и каждая пара снабжает топливом определенный цилиндр.

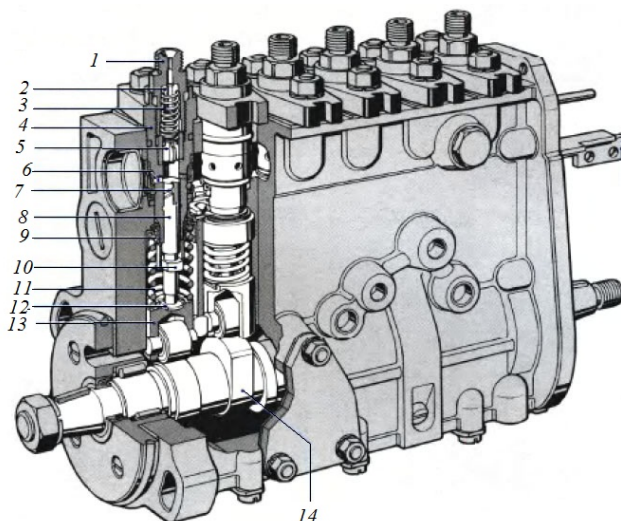


Рис. 8.7. Схема рядного ТНВД: 1 – корпус нагнетательного клапана; 2 – проставка; 3 – пружина нагнетательного клапана; 4 – гильза плунжера; 5 – конус нагнетательного клапана; 6 – впускное и распределительное отверстия; 7 – регулирующая кромка плунжера; 8 – плунжер; 9 – регулирующая втулка плунжера; 10 – поводок плунжера; 11 – пружина плунжера; 12 – тарелка пружины; 13 – роликовый толкатель; 14 – кулачковый вал

Плунжерные пары установлены в корпусе ТНВД, в котором имеются каналы для подвода и отвода топлива. Каждый плунжер на боковой поверхности имеет специальную спиральную канавку – отсечную кромку. В нижней части корпуса ТНВД на подшипниках качения установлен кулачковый вал, который приводится от коленчатого вала двигателя. Все плунжеры с помощью пружин прижимаются к соответствующим кулачкам. При вращении кулачкового вала кулачки в определенной последовательности перемещают плунжеры внутри вту-

лок. При движении плунжера вверх он сначала закрывает выпускное отверстие во втулке, а затем впускное.

Секция топливного насоса представляет собой небольшой насос плунжерного (поршневого) типа (рис. 8.8), работающий следующим образом.

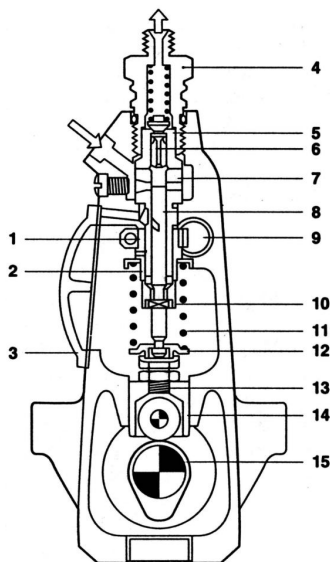


Рис. 8.8. Секция рядного ТНВД: 1 – зубчатый сектор; 2 – регулирующая поворотная втулка плунжера; 3 – боковая крышка; 4 – штуцер нагнетательного клапана; 5 – корпус нагнетательного клапана; 6 – нагнетательный клапан; 7 – гильза плунжера; 8 – плунжер; 9 – рейка ТНВД; 10 – поводок плунжера; 11 – возвратная пружина плунжера; 12 – нижняя тарелка возвратной пружины; 13 – регулировочный болт; 14 – роликовый толкатель; 15 – кулачковый вал

Насосные секции установлены в верхней части корпуса и крепятся винтами. Основной частью каждой насосной секции является плунжерная пара, состоящая из плунжера 8 и гильзы 7. Плунжерную пару изготавливают из хромомолибденовой стали и подвергают закалке до высокой твердости. После окончательной обработки подбором производят сборку плунжеров и гильз так, чтобы обеспечить в соединении зазор, равный 3–5 мкм. Этим достигается максимальная плотность сопряжения взаимодействующих деталей, обеспечивающих давление впрыскивания топлива до 1200 кгс/см².

Сверху каждой плунжерной пары установлен нагнетательный клапан 6, размещенный в корпусе 5.

При вращении кулачкового вала 15 насоса выступ кулачка набегают на роликовый толкатель 14, который через регулировочный болт воз-

действует на плунжер 8 и перемещает его вверх. Когда выступ кулачка выходит из-под ролика толкателя, пружина 11, упирающаяся в тарелки, возвращает плунжер в первоначальное положение. Рейка 9 входит в зацепление с зубчатым венцом поворотной втулки 2, надетой на гильзу.

При движении плунжера вверх происходит ход нагнетания, при движении вниз – ход всасывания.

Схема работы плунжерной пары представлена на рис. 8.9.

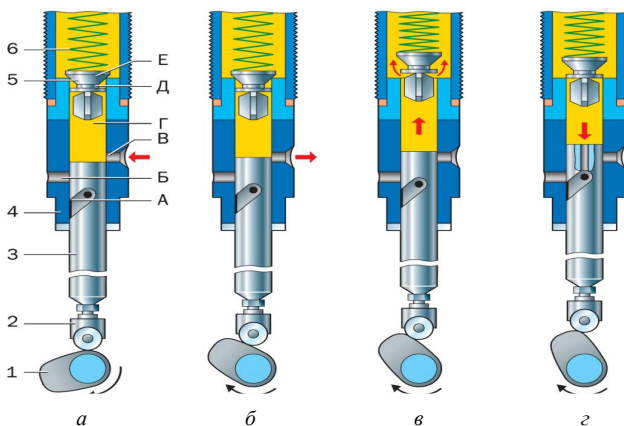


Рис. 8.9. Схема работы плунжерной пары: а – впуск топлива (наполнение); б – начало движения плунжера вверх; в – момент начала нагнетания; г – момент отсечки подачи;

1 – кулачок; 2 – толкатель; 3 – плунжер; 4 – втулка плунжера; 5 – нагнетательный клапан; 6 – пружина клапана; А – отсечная кромка; Б – перепускное окно; В – впускное окно; Г – надплунжерное пространство; Д – разгрузочный пояс; Е – запорная часть клапана

Впуск и начало нагнетания топлива. Когда плунжер 3 движется вниз, топливо с момента открытия впускного отверстия В начинает поступать из канала и заполнять полость над плунжером в гильзе Г. При движении плунжера вверх топливо в начальный период вытесняется из гильзы через впускное отверстие В обратно в канал головки. Когда верхняя кромка плунжера перекроет впускное отверстие, в надплунжерной полости гильзы начнет повышаться давление топлива. Под действием этого давления клапан 5 открывается, и топливо нагнетается по топливопроводу в форсунку.

Перепуск топлива. При дальнейшем движении плунжера отсечная кромка *A* откроет перепускное отверстие, и топливо из надплунжерной полости через центральное вертикальное отверстие, радиальное отверстие, вертикальную канавку плунжера и перепускное отверстие *B* начнет перетекать в канал головки. В результате уменьшения давления над плунжером пружина *6* и остаточное давление топлива прижмут нагнетательный клапан к седлу, и клапан разъединит надплунжерную полость гильзы и топлипровода в период перепуска и всасывания топлива.

Под давлением топлива открывается нагнетательный клапан, находящийся сверху гильзы, и топливо поступает через трубопроводы высокого давления к соответствующим форсункам.

Нагнетательный клапан *5* разгружает топливopовод высокого давления, так как он снабжен цилиндрическим разгрузочным пояском *D*, который при посадке клапана на седло обеспечивает увеличение объема топливopовода. Этим достигается резкое прекращение впрыскивания топлива и устраняется возможность его подтекания через распылитель форсунки, что улучшает процесс смесеобразования и сгорания рабочей смеси, а также повышает надежность работы форсунки.

Общий вид рядного ТНВД с электронным управлением показан на рис. 8.10.

Как и в обычном рядном ТНВД, оснащенном механическим регулятором, количество впрыскиваемого топлива определяется положением управляющей рейки подачи топлива *3* и частотой вращения вала привода ТНВД. Управление рейкой осуществляется с помощью специального электромагнитного регулятора количества топлива *8*, присоединенного непосредственно к ТНВД. Электромагнитный регулятор состоит из катушки и сердечника, воздействующего на рейку ТНВД. Положение рейки насоса определяется индуктивным датчиком положения рейки *9*, закрепленным на ней. В катушку электромагнитного регулятора в зависимости от сигналов входных датчиков температуры двигателя, частоты вращения вала насоса, положения педали управления рейкой и др. от блока управления поступает ток возбуждения различной величины. При этом сердечник регулятора, втягиваясь под воздействием магнитного поля, воздействует на рейку насоса, преодолевая усилие пружины, изменяя количество впрыскиваемого топлива. С увеличением силы тока, поступающего от блока управления, сердечник, втягиваясь на большую величину и воздействуя на рейку, увеличивает подачу топлива. При отключении соленоида пружина

жина прижимает рейку в положение остановки двигателя и прекращает подачу топлива.

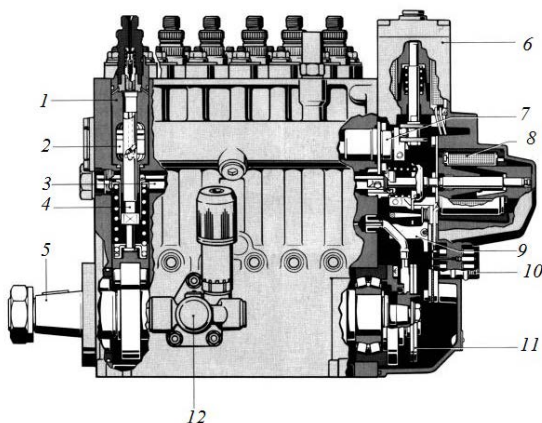


Рис. 8.10. Рядный ТНВД с электронным управлением: 1 – гильза; 2 – втулка управления; 3 – рейка подачи топлива; 4 – плунжер; 5 – кулачковый вал; 6 – электромагнитный клапан начала подачи топлива; 7 – вал управления регулирующей втулкой; 8 – электромагнитный регулятор количества топлива; 9 – индуктивный датчик положения рейки; 10 – вилочное соединение; 11 – диск; 12 – топливopодкачивающий насос

На кулачковом валу ТНВД устанавливается зубчатый диск 11, который при вращении подает импульсы на индуктивный измерительный преобразователь. Электронный блок управления использует импульсные интервалы для вычисления частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Датчик положения рейки подает сигналы для различных устройств на двигателе и автомобиле:

- сигнал о моменте переключения передач для гидравлической коробки передач;
- сигнал для подачи максимальной порции топлива, скоординированной с давлением наддува для соблюдения норм на дымность отработавших газов;
- сигнал о нагрузке как указание момента переключения для переключения передач в механической коробке передач;
- сигнал для измерения расхода топлива;
- сигнал для запуска рециркуляции отработавших газов;
- сигнал диагностики и др.

Датчик (рис. 8.11) положения рейки состоит из пластинчатого стального сердечника 2 с двумя наружными открытыми концами. На одном конце закреплена измерительная катушка 7, которая запитывается переменным током с частотой 10 кГц, на другом конце – контрольная катушка 1. Короткозамкнутый подвижный контур 3, предназначенный для регистрации хода рейки, крепится к ней. Датчик хода рейки соединен с блоком управления.

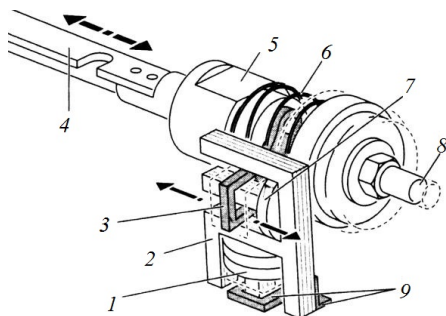


Рис. 8.11. Датчик положения рейки:

- 1 – контрольная катушка;
- 2 – сердечник;
- 3 – короткозамкнутый подвижный контур; 4 – рейка;
- 5 – лыска; 6 – возвратная пружина; 7 – измерительная катушка; 8 – магнитопровод;
- 9 – неподвижный контур

Принцип работы датчика состоит в том, что короткозамкнутый неподвижный контур 9, окружающий конец сердечника, экранирует переменное магнитное поле (индукцию), вырабатываемое контрольной катушкой 1. Распространение магнитного поля ограничивается пространством между катушкой и короткозамкнутым кольцом. Так как короткозамкнутое подвижное кольцо перемещается вместе с рейкой и изменяет свое положение относительно измерительной катушки, магнитное поле, воздействующее на измерительную обмотку, изменяется. Реагирующая цепь преобразует отношение индукции измерительной катушки 7 к индукции контрольной катушки 1 в отношении напряжений, которые пропорциональны ходу рейки. Величина измеряемого напряжения постоянно сравнивается с напряжением контрольной катушки.

Датчик информирует о текущем положении рейки с точностью 0,2 мм.

Электронный блок управления сравнивает частоту вращения и другие параметры работы двигателя с целью определения оптимального количества подаваемого топлива (выражаемого как функция положения рейки). С помощью электронного контроллера сравнивается поло-

жение рейки насоса с конкретной точкой для определения значения силы тока возбуждения соленоида, который сжимает возвратную пружину. Когда отклонения определяются, регулируется ток возбуждения, обеспечивая смещение рейки насоса к более точному положению.

Подача топлива к форсункам принципиально не отличается от подачи в механических ТНВД. Однако в насосах с электронным управлением отсутствует муфта опережения впрыска, и в них угол опережения впрыска управляется по сигналам, подаваемым от блока управления в электромагнитный клапан начала подачи топлива. В зависимости от величины силы тока, поступающего в катушку электромагнитного клапана начала подачи топлива 6 (см. рис. 8.10), его сердечник, преодолевая сопротивление пружины, втягивается в катушку на определенную величину, поворачивая при этом вал управления 7 регулирующей втулкой. В свою очередь, вал управления связан с втулкой управления. При повороте вала управляющая втулка может приподниматься или опускаться. При обесточивании электромагнитного клапана вал под воздействием пружины переводит втулки в верхнее положение (поздний впрыск).

Начало подачи может регулироваться при изменении положения втулок в пределах до 40° поворота коленчатого вала.

Принцип работы прецизионных деталей гильзы, плунжера и управляющей втулки показан на рис. 8.12.

Плунжер кроме обычной спиральной канавки, изменяющей подаваемую порцию топлива к форсункам, имеет распределительное отверстие 6, которое может быть закрыто или открыто управляющей втулкой 4. При движении плунжера вниз топливо поступает в надплунжерное пространство.

При движении плунжера 7 вверх, до тех пор пока распределительное отверстие 6 находится в полости всасывания камеры низкого давления 12, давление в полости нагнетания 2 выравнивается с давлением во всасывающей полости через центральный канал.

Как только распределительное отверстие 6 плунжера перекрывается кромкой управляющей втулки 4, полость всасывания и полость высокого давления разобщаются и давление в полости нагнетания начинает расти. После того как под воздействием высокого давления открывается нагнетательный клапан 1, давление в трубопроводе высокого давления растет до величины открытия иглы форсунки (начало впрыска).

Впрыск продолжается при движении плунжера вверх, пока кромка спиральной канавки 5 не достигнет разгрузочного отверстия 11 в

управляющей втулке 4. После этого давление в полостях выравнивается, и нагнетательный клапан 1 под воздействием пружины и давления топлива закрывается.

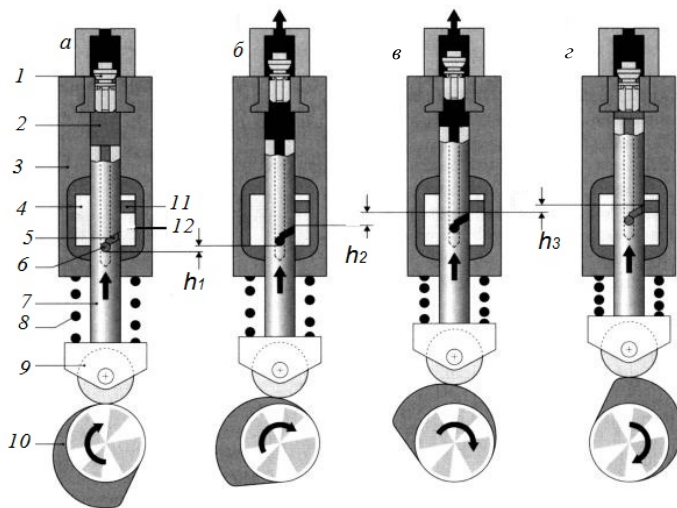


Рис. 8.12. Принцип работы плунжерной пары с управляющей втулкой:
а – НМТ плунжера; *б* – начало подачи топлива; *в* – завершение подачи топлива;
г – ВМТ плунжера; 1 – нагнетательный клапан; 2 – полость высокого давления;
 3 – втулка плунжера; 4 – управляющая втулка; 5 – винтовая канавка плунжера;
 6 – распределительное отверстие в плунжере; 7 – плунжер; 8 – пружина плунжера;
 9 – роликовый толкатель; 10 – кулачок; 11 – разгрузочное отверстие; 12 – камера низкого давления; h_1 – предварительный ход; h_2 – полезный ход; h_3 – холостой ход

Регулирование начала впрыска топлива зависит от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки на двигатель и его температуры. Начало впрыска топлива зависит от положения управляющей втулки, размещенной в кольцевой выточке гильзы. Изменение начала впрыска происходит одновременно во всех секциях насоса за счет поднятия или опускания управляющих втулок. Начало впрыска топлива зависит от положения управляющей втулки, так как нагнетание может произойти только после перекрытия распределительного отверстия плунжера 6, в противном случае топливо через вертикальный канал и отверстие 6 будет вытесняться полостью 12 и давление в надплунжерном пространстве возрастать не будет. В момент перекрытия отверстия 6 полость в

надплунжерном пространстве становится герметичной и давление топлива начинает резко возрастать, открывая при этом нагнетательный клапан. Если втулка находится относительно отверстия плунжера 6 выше, впрыск начинается позже, так как позже будет перекрываться окно плунжера. При более низком положении втулки относительно окна плунжера перекрытие окна плунжера будет более ранним и впрыск начинается раньше. Ход втулки составляет около 5,5 мм при изменении угла опережения впрыска топлива 12° по углу поворота коленчатого вала.

Регулирование количества подаваемого топлива осуществляется, как и у обычных механических ТНВД, поворотом плунжера 7, на котором распределительное отверстие 6 соединено с винтовой канавкой 5 плунжера. Если плунжер повернут на небольшой угол, количество подаваемого топлива будет малым, так как спиральная канавка очень быстро после закрытия распределительного отверстия в плунжере 6 управляющей втулкой достигает разгрузочного отверстия 11 втулки. При большем повороте плунжера подача топлива соответственно увеличивается.

Прекращение подачи топлива осуществляется при останове двигателя. При этом плунжер устанавливается в такое положение, при котором в любой позиции между мертвыми точками полости всасывания и нагнетания соединены через центральное отверстие плунжера.

Многоплунжерные насосы конструктивно сложны, трудоемки в изготовлении, имеют большие габариты и массу. Этих недостатков лишены распределительные одноплунжерные насосы.

Распределительный ТНВД с аксиальным расположением плунжера. Одноплунжерные распределительные ТНВД устанавливаются на трех-, четырех-, пяти- или шестицилиндровые двигатели тракторов, легковых и грузовых автомобилей с цилиндровой мощностью до 20 кВт. Особенностью таких насосов является то, что в них оси приводного вала и плунжера совпадают и вращаются с одинаковой угловой скоростью.

В отличие от рядных ТНВД, имеющих на каждый цилиндр плунжер, в распределительных ТНВД имеется всего лишь один плунжер на все цилиндры двигателя. Распределительный ТНВД выполнен по модульной схеме и может быть укомплектован различными дополнительными устройствами. В соответствии с их функциями появляются дополнительные возможности для адаптации двигателя к различным условиям эксплуатации, позволяющие увеличить его приспособляе-

мость и приемистость, снизить расход топлива и эмиссию токсичных компонентов, понизить шумность и улучшить холодный пуск.

Основными достоинствами распределительных ТНВД являются: незначительная масса; компактная конструкция; одинаковое давление впрыска и количество подаваемого топлива для всех цилиндров.

К основным функциональным блокам распределительного ТНВД относятся (рис. 8.13): топливный насос низкого давления (ТННД) с редукционным клапаном 1; блок высокого давления 2, в который входит плунжер, втулка, дозирующая муфта и распределительная головка; автоматический регулятор частоты вращения 3 с системой рычагов и пружин; электромагнитный клапан останова двигателя 4; автомат опережения впрыска топлива 5.

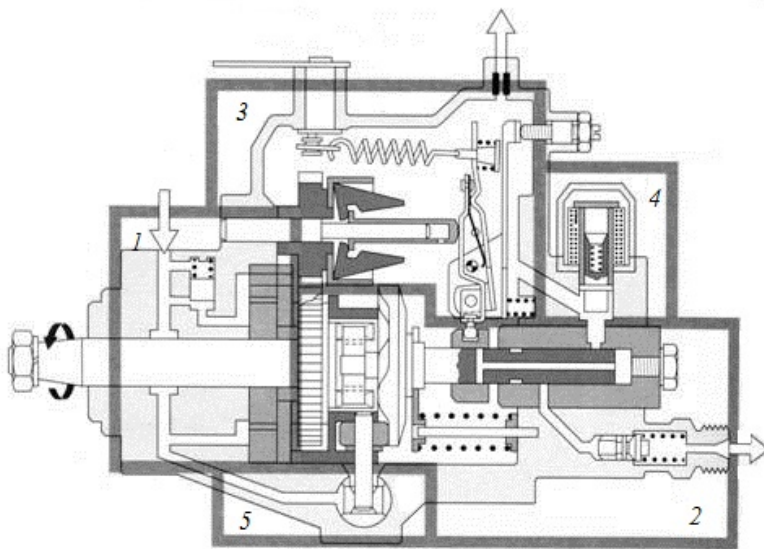


Рис. 8.13. Основные функциональные блоки распределительного ТНВД:
1 – топливный насос низкого давления; 2 – блок высокого давления; 3 – автоматический регулятор частоты вращения; 4 – электромагнитный клапан останова двигателя;
5 – автомат опережения впрыска топлива

На валу 1 (рис. 8.14) устанавливается ротор топливного насоса низкого давления, шестерня привода регулятора и кулачковый диск. За валом, неподвижно в корпусе насоса, устанавливается кольцо с роликами и штоком привода автомата опережения впрыска топлива.

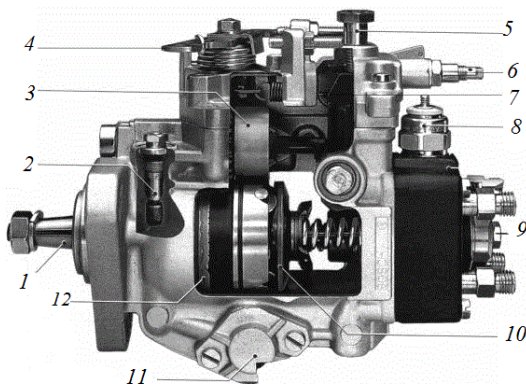


Рис. 8.14. Топливный насос: 1 – вал привода насоса; 2 – перепускной клапан регулирования внутреннего давления; 3 – рычаг управления подачей топлива; 4 – грузы регулятора; 5 – жиклер слива топлива; 6 – винт регулировки полной нагрузки; 7 – передаточный рычаг регулятора; 8 – электромагнитный клапан останова двигателя; 9 – центральная пробка; 10 – кулачковый диск; 11 – автомат опережения впрыска топлива; 12 – топливоподкачивающий насос низкого давления

Привод вала ТНВД осуществляется зубчатым ремнем от коленчатого вала, причем вал насоса вращается в 2 раза медленнее коленчатого вала двигателя. Поступательное движение плунжера обеспечивается кулачковым диском, а вращательное – валом ТНВД.

Автоматический регулятор частоты вращения включает в себя центробежные грузы, которые через муфту регулятора и систему рычагов воздействуют на дозирующую муфту, изменяя, таким образом, величину топливоподачи в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов.

Автомат опережения впрыска является гидравлическим устройством, работа которого определяется давлением топлива во внутренней полости ТНВД, создаваемым топливным насосом низкого давления с редукционным клапаном. Кроме того, заданный уровень давления внутри ТНВД поддерживается дросселем в штуцере для выхода избыточного топлива.

На задней стенке корпуса насоса расположена распределительная головка, в которой устанавливается электромагнитный клапан останова двигателя и штуцера с нагнетательными клапанами.

На верхней крышке ТНВД находится рычаг для изменения величины подачи топлива и регулировочные винты минимальной и максимальной частоты вращения коленчатого вала.

Регуляторы частоты вращения коленчатого вала двигателя устанавливаются на насосе высокого давления и приводятся в действие от кулачкового вала. Их работа основана на использовании центробежных сил. Например, при заданном положении педали управления подачи топлива и возникновении дополнительного сопротивления движению (на подъеме) частота вращения коленчатого вала двигателя будет уменьшаться, а скорость трактора падать. Чтобы ее поддержать на заданном уровне, необходимо повысить крутящий момент двигателя. Это может быть достигнуто увеличением количества топлива, впрыскиваемого в цилиндры двигателя. Регулятор воспринимает снижение частоты вращения коленчатого вала и автоматически увеличивает подачу топлива насосом высокого давления, благодаря чему скорость трактора восстанавливается до заданного значения.

Аналогичным образом регулятор изменяет подачу топлива при уменьшении нагрузки на двигатель, только в этом случае управляющее воздействие регулятора сводится к уменьшению количества впрыскиваемого топлива. В результате при снижении нагрузки на двигатель происходит уменьшение скорости движения и доведение ее до заданного уровня. Таким образом, регулятор автоматически изменяет подачу топлива при изменении нагрузки на двигатель и обеспечивает установку любого выбранного скоростного режима при отклонениях от него в пределах 10–20 %.

Различают двухрежимный и всережимный регуляторы частоты вращения коленчатого вала.

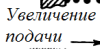
Двухрежимный регулятор (типа RQ) поддерживает определенную частоту вращения коленчатого вала на режимах минимальной и максимальной частоты вращения коленчатого вала.

Всережимный регулятор (типа RSV) поддерживает необходимую частоту вращения на всех режимах работы двигателя.

Всережимные регуляторы, устанавливаемые на небольших высокооборотистых двигателях, позволяют поддерживать частоту вращения коленчатого вала в пределах 6–10 % от заданной.

Центробежный регулятор представляет собой систему, состоящую из вращающихся грузов, пружин и рычагов, связанных с рейкой топливного насоса высокого давления, управляющей цикловой подачей топлива.

1. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$



1 – крестовина; 2 – упор; 3, 4 – грузы;
5 – скользящая муфта; 6 – вал;
7, 8 – рычаги; 9 – рейка;
10, 12 – пружины; 11 – втулка;
13 – стакан; 14 – тяга; I, II – положение
двуплечего рычага

Массы грузов и затяжку слабой пружины подбирают так чтобы

Педадь акселератора во время работы двигателя на холостом ходу с

вольном уменьшении частоты вращения коленчатого вала двигателя центробежная сила грузов уменьшается и пружина 12, отклоня вильчатый рычаг, перемещает рейку топливного насоса в сторону увеличения подачи топлива. В случае самопроизвольного повышения частоты вращения коленчатого вала двигателя центробежная сила грузов увеличивается и муфта 5, отклоня вильчатый рычаг и сжимая при этом пружину 12, перемещает рейку насоса в сторону уменьшения подачи топлива. Таким образом, одна система двухрежимного регулятора обеспечивает устойчивую работу дизеля при минимальной частоте вращения коленчатого вала на холостом ходу.

Массу грузов и затяжку сильной пружины подбирают так, чтобы равновесие системы обеспечивалось при максимальной частоте вращения коленчатого вала, допустимой для данного двигателя. Педаль акселератора при работе двигателя с максимальной частотой вращения коленчатого вала полностью нажата, и двуплечий рычаг находится в положении II. При этом большие грузы регулятора раздвигаются до упоров 2 и не изменяют своего положения, сжимая слабую пружину вильчатым рычагом настолько, что стакан 13 вдвигается до упора в торец втулки 11.

С дальнейшим увеличением частоты вращения коленчатого вала, которое может происходить при уменьшении нагрузки дизеля, центробежная сила грузов увеличивается и муфта 5, отклоня вильчатый рычаг и сжимая при этом пружину 10, перемещает рейку насоса высокого давления в сторону уменьшения подачи топлива. Таким образом, вторая система двухрежимного регулятора ограничивает максимальную частоту вращения, не допуская его разгона, даже при его полной разгрузке.

Всережимный автоматический регулятор (рис. 8.16) обеспечивает регулирование частоты вращения коленчатого вала двигателя во всем диапазоне рабочих режимов, а водитель задает требуемый скоростной режим, нажимая на педаль.

Грузы 1 (их обычно 4) регулятора установлены в держателе, который получает вращение от приводной шестерни. Радиальное перемещение грузов трансформируется в осевое перемещение муфты 12 регулятора, что изменяет положение силового 4 рычага и рычага подачи топлива 3 регулятора, которые, поворачиваясь относительно оси M_2 , перемещают дозирующую муфту 9, определяя тем самым активный ход плунжера 11.

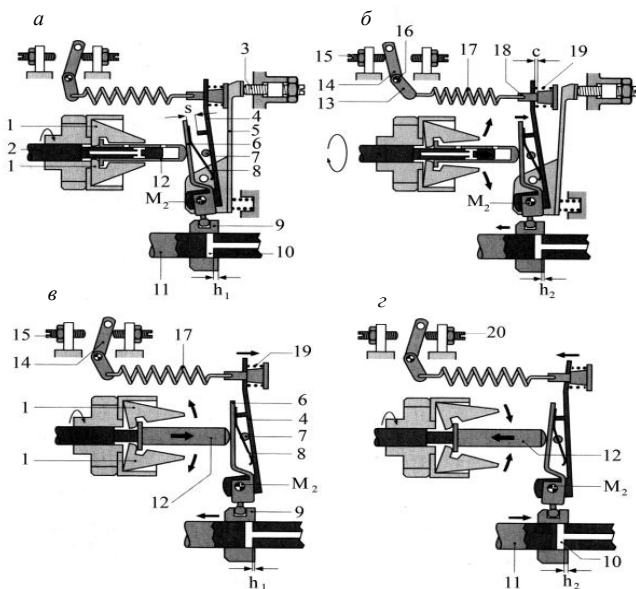


Рис. 8.16. Схема работы всережимного регулятора: *а* – пуск двигателя; *б* – холостой ход; *в* – режим уменьшения нагрузки; *г* – режим увеличения нагрузки; 1 – грузы; 2 – ось скользящей муфты; 3 – регулировочный винт максимального режима; 4 – силовой рычаг; 5 – рычаг регулировки подачи топлива; 6 – нажимной рычаг; 7 – упор силового рычага; 8 – пластинчатая пружина пусковой подачи; 9 – дозирующая муфта; 10 – отсечное отверстие плунжера; 11 – плунжер; 12 – скользящая муфта регулятора; 13 – рычаг натяжения пружины; 14 – рычаг управления; 15 – регулировочный винт холостого хода минимального режима; 16 – ось рычага управления; 17 – рабочая пружина регулятора; 18 – фиксатор пружины; 19 – пружина минимального режима холостого хода; 20 – регулировочный винт холостого хода максимального режима

В верхней части силового рычага установлена пружина холостого хода 19, а между силовым и пусковым рычагами – пластинчатая пружина пусковой подачи 8. Рычаг управления 14 воздействует на рабочую пружину регулятора 17, второй конец которой закреплен в силовом рычаге на фиксаторе 18.

Таким образом, положение системы рычагов и, следовательно, дозирующей муфты определяется взаимодействием двух сил – силы предварительной затяжки рабочей пружины 17 регулятора, определяемой положением рычага управления 14, и центробежной силы грузов 1, приведенной к муфте 12.

Работа регулятора при пуске дизеля.

Перед пуском двигателя, когда коленчатый вал еще не вращается и топливный насос не работает, грузы регулятора находятся в состоянии покоя на минимальном радиусе, а нажимной рычаг 6 (его другое название – рычаг пуска) под действием пружины пусковой подачи 8 смещен влево (рис. 8.16, а), имея возможность качания относительно оси M_2 . Соответственно нижний шарнирный конец рычага обеспечивает крайне правое положение дозирующей муфты 9 относительно плунжера 11, что соответствует пусковой подаче за счет увеличенного активного хода плунжера h_1 . Как только двигатель запустится, грузы регулятора расходятся и муфта 12 перемещается вправо на величину хода S , преодолевая сопротивление достаточно слабой пусковой пружины 8. Рычаг 6 при этом поворачивается на оси M_2 по часовой стрелке, перемещая дозирующую муфту в сторону уменьшения подачи влево (рис. 8.16, б).

Работа регулятора на минимальной частоте вращения холостого хода.

При отсутствии нагрузки и положении рычага управления на упоре в регулировочный винт 15 двигатель должен устойчиво работать на минимальной частоте вращения холостого хода в соответствии со схемой, приведенной на рис. 8.16, б. Регулирование этого режима обеспечивается пружиной холостого хода 19, усилие которой находится в равновесии с центробежной силой грузов, и в результате этого равновесия поддерживается подача топлива, соответствующая активному ходу плунжера h_2 . Как только скоростной режим двигателя выходит за пределы минимальной частоты вращения холостого хода, реализуется ход c силового рычага при сжатии пружины 19 под действием увеличивающейся центробежной силы грузов.

Работа регулятора на нагрузочных режимах.

В эксплуатации дизеля с всережимным регулятором скоростной режим устанавливается водителем путем воздействия через педаль акселератора на рычаг управления 14. На рабочих режимах пружина пусковой подачи 8 и пружина 19 холостого хода не работают, и работа регулятора определяется предварительной деформацией рабочей пружины 17. При повороте рычага управления до упора в регулировочный винт холостого хода максимального режима 20 (рис. 8.16, в, г) в сторону увеличения скоростного режима и соответствующем растяжении рабочей пружины ее усилие передается на силовой рычаг 4 и затем через рычаг 6 на муфту регулятора 12, заставляя грузы 1 сходиться.

Система рычагов при этом поворачивается относительно оси M_2 против часовой стрелки (рис. 8.16, *з*), перемещая дозирующую муфту 9 в сторону увеличения подачи до режимов внешней скоростной характеристики. Частота вращения коленчатого вала дизеля и соответственно грузов регулятора при этом увеличивается, центробежная сила грузов и сопротивление последней усилию рабочей пружины также увеличиваются, и в какой-то момент наступает равновесие сил и равновесие положения всех элементов регулятора. При отсутствии изменения нагрузки двигатель работает на установившемся режиме при постоянной частоте вращения. Если на этом режиме имеет место изменение нагрузки, то в работу вступает автоматический регулятор в соответствии со схемами, показанными на рис. 8.16, *в*, *з*. При уменьшении нагрузки (рис. 8.16, *в*) частота вращения увеличивается, грузы регулятора расходятся и, преодолевая сопротивление рабочей пружины, перемещают муфту регулятора вправо. Система рычагов при этом поворачивается относительно оси M_2 по часовой стрелке, перемещая дозирующую муфту 9 влево, в сторону уменьшения подачи.

На рис. 8.16, *з* показана работа регулятора при положении рычага управления на упоре регулировочного винта холостого хода максимального режима 20 и при увеличении нагрузки. В этом случае частота вращения вала дизеля уменьшается, грузы регулятора сходятся, центробежная сила грузов уменьшается, и под действием усилия рабочей пружины муфта 12 регулятора перемещается влево, а система рычагов 4 и 6 перемещает дозирующую муфту вправо, в сторону увеличения подачи.

Для опережения впрыскивания топлива в цилиндры дизеля в зависимости от частоты вращения его коленчатого вала в передней части насоса устанавливается центробежная муфта.

Муфта опережения впрыска топлива (рис. 8.17) состоит из двух полумуфт – ведущей 1 и ведомой 2.

Обе полумуфты подвижно соединены между собой через эксцентриковый элемент 5, состоящий из компенсирующих и регулировочных эксцентриков, которые направляются штифтом, жестко связанным с корпусом. Внутренняя полумуфта жестко связана с кулачковым валом насоса высокого давления. К наружной полумуфте прикреплен привод ТНВД (звездочка, шестерня). Внутри муфты опережения впрыска расположены центробежные грузы 8, которые соединены с эксцентриковым элементом 5 и удерживаются в исходном положении пружинами с переменной жесткостью 7.

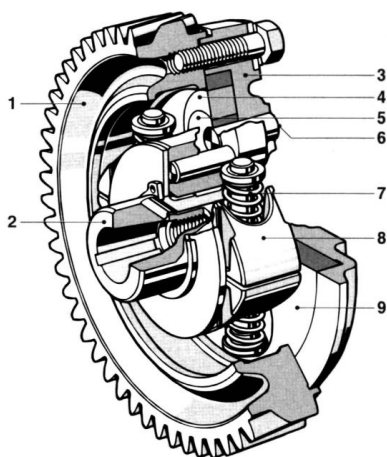


Рис. 8.17. Муфта опережения впрыска:
 1 – ведущая полумуфта (приводная шестерня); 2 – ведомая полумуфта (ступица); 3 – корпус муфты;
 4 – эксцентрик регулировочный;
 5 – эксцентрик дополнительный;
 6 – палец; 7 – пружины;
 8 – грузы; 9 – опорная шайба

Воздухоочиститель, обеспечивая высокое качество очистки, должен вместе с тем обладать возможно меньшим сопротивлением движению воздуха, чтобы не снижать наполнение цилиндров.

По способу очистки воздухоочистители разделяют на три основные группы: инерционные, фильтрующие и комбинированные. Последние, в которых сочетаются инерционные и фильтрующие способы очистки, отличает качественная работа, и поэтому они получили наибольшее распространение.

Воздухоочистители некоторых двигателей снабжены специальными приспособлениями для глушения шума, возникающего при всасывании воздуха.

На многие дизели устанавливают комбинированные воздухоочистители, использующие сухую и мокрую инерционные и мокрую фильтрующую очистки. Такой воздухоочиститель (рис. 8.18) работает следующим образом.

В результате разрежения, возникающего при такте впуска в цилиндрах дизеля, воздух из атмосферы засасывается в сухой инерционный очиститель через сетку 12 и, проходя между лопастями завихрителя 8, получает вращательное движение. Под действием центробежной силы тяжелые частицы пыли отлетают к стенкам колпака 9 и через щели 10 выбрасываются наружу. В таком очистителе задерживается до 60 % массы пыли, поступившей с воздухом. Воздух, продолжая двигаться по

спирали, перемещается с большой скоростью вниз. Выходя из центральной трубы 5, воздух ударяется о масло, находящееся в чашке 18 съемного поддона 17. Вращательное движение воздуха в чашке и резкое изменение его направления способствуют выделению из воздуха пыли, которая остается в масле, а затем оседает на дно чашки и поддона. Так осуществляется мокрая инерционная очистка воздуха.

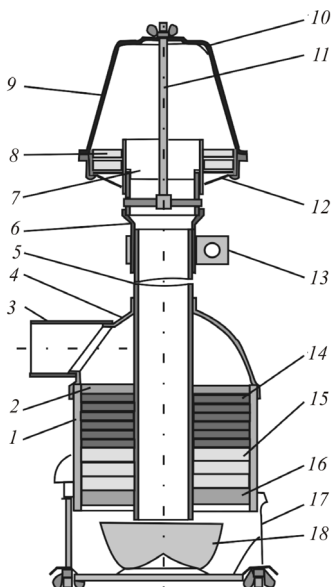


Рис. 8.18. Фильтр очистки воздуха дизеля Д-243: 1 – корпус; 2 – обойма опорная; 3 – патрубок боковой; 4 – головка; 5 – центральная труба; 6 – патрубок; 7 – распределитель; 8 – завихритель; 9 – колпак; 10 – щели; 11 – шпилька; 12 – сетка; 13 – хомут; 14, 15 – фильтрующие элементы; 16 – обойма замковая; 17 – поддон; 18 – чашка

Затем воздух, захватив частицы распыленного им масла, проходит через мокрый фильтрующий очиститель, состоящий из двух шайбообразных элементов 14 и 15, спрессованных из капроновой нити, и теряет там оставшиеся частицы пыли. Постепенно частицы масла укрупняются и стекают вместе с пылью в поддон. Очищенный воздух по патрубку 3 поступает в цилиндры двигателя.

Форсунка (рис. 8.19) предназначена для впрыска тонко распыленного топлива в камеру сгорания дизеля.

На дизелях устанавливаются форсунки закрытого типа с распылителем и гидравлически управляемой иглой.

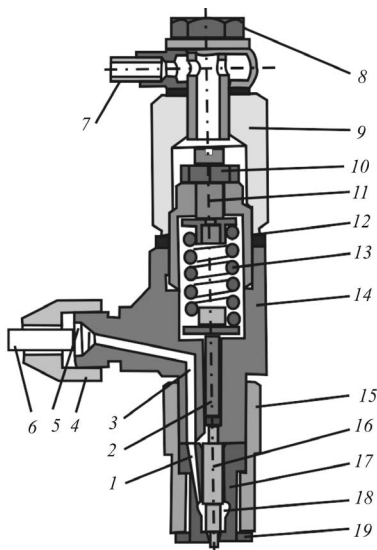


Рис. 8.19. Форсунка закрытого типа:
 1 – канал в распылителе; 2 – штанга;
 3 – канал в корпусе форсунки; 4 – накидная
 гайка; 5 – наконечник топливопровода;
 6 – топливопровод высокого давления;
 7 – сливная трубка; 8 – полый болт;
 9 – колпак; 10 – контргайка;
 11 – регулировочный винт; 12 – гайка;
 13 – пружина; 14 – корпус форсунки;
 15 – гайка крепления распылителя;
 16 – игла распылителя; 17 – распылитель;
 18 – полость в распылителе; 19 – прокладка

Закрытой форсунка называется из-за того, что в период между впрысками топлива в цилиндр двигателя игла, закрывая выходной канал распылителя, разобщает внутреннюю полость форсунки и цилиндр.

Форсунки устанавливаются в специальные латунные стаканы, размещенные в головке цилиндров. Стык стакана и форсунки уплотняется медной прокладкой. Каждую форсунку закрепляют специальной скобой.

Топливо из насоса высокого давления поступает по топливопроводу 6 через штуцер, каналы 1 и 3 в кольцевую полость распылителя 18. Как только давление топлива на коническую поверхность иглы распылителя 16 станет больше усилия пружины 13, игла поднимется и откроет доступ топливу в камеру сгорания через узкую кольцевую щель между выходным отверстием распылителя 17 и штифтом иглы. Проходя под большим давлением через щель, топливо распыляется на мелкие частицы, которые приобретают форму конуса.

Как только насос прекратит подачу топлива, давление в кольцевой полости распылителя 18 уменьшится и игла распылителя (под действием пружины 13) займет свое первоначальное положение.

Эффективным средством повышения мощностных и динамических показателей двигателей является наддув, т. е. подача заряда смеси (воздуха) в цилиндр под давлением. Наиболее распространен наддув при помощи турбокомпрессора, позволяющий использовать энергию отработавших газов, что улучшает экономичность двигателей. Такой наддув применяют на дизелях ЯМЗ-238НБ, Д-245, -260, -265.

Турбокомпрессор (рис. 8.20) состоит общем случае из трех основных узлов: турбина 1, компрессор 5, корпус подшипников 3 (центральный корпус).

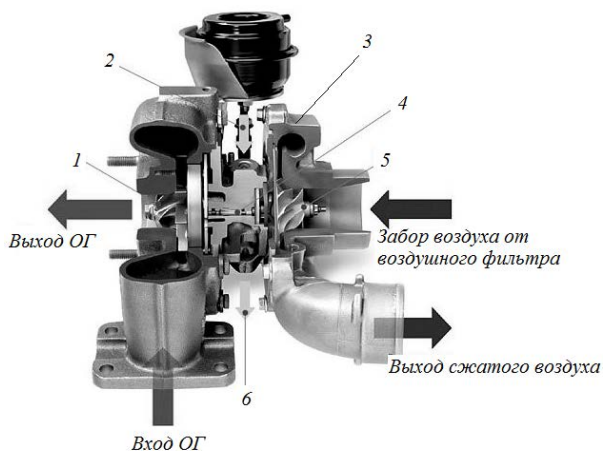


Рис. 8.20. Турбокомпрессор дизеля: 1 – турбина; 2 – канал подачи масла к подшипникам; 3 – корпус подшипников; 4 – вал ротора; 5 – компрессор; 6 – канал слива масла

Турбина – агрегат, преобразующий кинетическую энергию отработавших газов в механическую энергию (в крутящий момент колеса), которая обеспечивает работу компрессора. Компрессор – агрегат для нагнетания воздуха. Корпус подшипников связывает оба агрегата в единую конструкцию, а расположенный в нем вал ротора 4 обеспечивает передачу крутящего момента от колеса турбины на колесо компрессора.

Турбина 1 и компрессор 5 имеют сходную конструкцию. Основой каждого из этих агрегатов выступает корпус-улитка, в периферийной и центральной части которого расположены патрубки для соединения с

системой наддува. У компрессора впускной патрубок всегда находится в центре, выпускной (нагнетательный) – на периферии. Такое же расположение патрубков у осевых турбин, у радиально-осевых турбин расположение патрубков обратное (на периферии – впускной, в центре – выпускной).

Внутри корпуса располагается колесо с лопатками специальной формы. Оба колеса – турбинное и компрессорное – удерживаются общим валом 4, который проходит через корпус подшипников 3. Колеса – цельнолитые или составные, форма лопаток турбинного колеса обеспечивает максимально эффективное использование энергии отработавших газов, форма лопаток компрессорного колеса обеспечивает максимальный центробежный эффект. В современных турбинах высокого класса могут использоваться составные колеса с керамическими лопатками, которые имеют низкую массу и обладают лучшими характеристиками.

Оба корпуса монтируются на корпус подшипников 3 с помощью болтов через уплотнения. Здесь располагаются подшипники скольжения (реже – подшипники качения специальной конструкции) и уплотнительные кольца. Также в центральном корпусе выполняются масляные каналы 2 и 6 для смазки подшипников и вала, а в некоторых турбокомпрессорах и полости водяной рубашки охлаждения. При монтаже агрегат соединяется с системами смазки и охлаждения двигателя.

В конструкции турбокомпрессора могут быть предусмотрены и различные вспомогательные компоненты, в том числе детали системы рециркуляции отработавших газов, масляные клапаны, элементы для улучшения смазки деталей и их охлаждения, регулировочные клапаны и т. д.

Турбокомпрессор включается в систему наддува воздуха, в которую также входят впускной и выпускной коллекторы, а в более сложных системах – интеркулер (радиатор охлаждения наддувного воздуха), различные клапаны, датчики, заслонки и трубопроводы.

Функционирование турбокомпрессора сводится к простым принципам. Турбина агрегата внедряется в выпускную систему двигателя, компрессор – во впускной тракт. Во время работы двигателя выхлопные газы поступают в турбину, ударяются о лопатки колеса, отдавая ему часть своей кинетической энергии и заставляя его вращаться. Крутящий момент от турбины посредством вала напрямую передается на колеса компрессора. При вращении колесо компрессора отбрасывает

воздух на периферию, повышая его давление – этот воздух подается во впускной коллектор.

При наддуве масса поступающего воздуха будет больше, чем без наддува, поэтому в цилиндр можно подавать и в нем сжигать большее количество топлива. Это дает возможность повысить эффективную мощность дизеля на 20–25 %. Однако наддув увеличивает механическую и тепловую нагрузку деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов.

Рассмотренная схема организации питания дизельного двигателя (см. рис. 8.1) имеет ряд существенных недостатков:

- впрыскивается меньшее количество топлива с более низким давлением, чем требуется в соответствии с количеством поступающего в двигатель воздуха;
- пиковое давление составляет более чем удвоенное среднее значение давления впрыска.

Данные недостатки были устранены последующим использованием системы питания Common Rail, важной особенностью которой является разделение узла, создающего давление, и узла впрыска топлива. Основу системы составляет резервуар – аккумулятор высокого давления. Давление впрыска не зависит от количества впрыскиваемого топлива и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Запас топлива под давлением находится в аккумуляторе и готов к впрыску.

Топливная система Common Rail (рис. 8.21) включает ступень подачи топлива под низким давлением, ступень подачи топлива под высоким давлением и ЭБУ (электронный блок управления).

Подача топлива под низким давлением системы Common Rail включает в себя:

- топливный бак 5 с фильтром-топливозаборником и подкачивающим насосом;
- фильтр тонкой очистки топлива 4;
- топливопроводы низкого давления.

Электрический подкачивающий топливный насос с фильтром-топливозаборником непрерывно подает определенное количество топлива из топливного бака 5 к топливному насосу высокого давления 1. Насос не только подает топливо, но и в пределах работы системы безопасности должен прекратить подачу топлива в случае аварии, т. е. при включенном зажигании и остановленном двигателе.

Подача топлива под высоким давлением системы Common Rail включает в себя:

- топливный насос высокого давления 1;
- топливопроводы высокого давления;
- аккумулятор высокого давления (rail) 9 с датчиком давления 10, регулятором давления 12, ограничителем потока 11, форсунками 14;
- возвратный топливопровод.

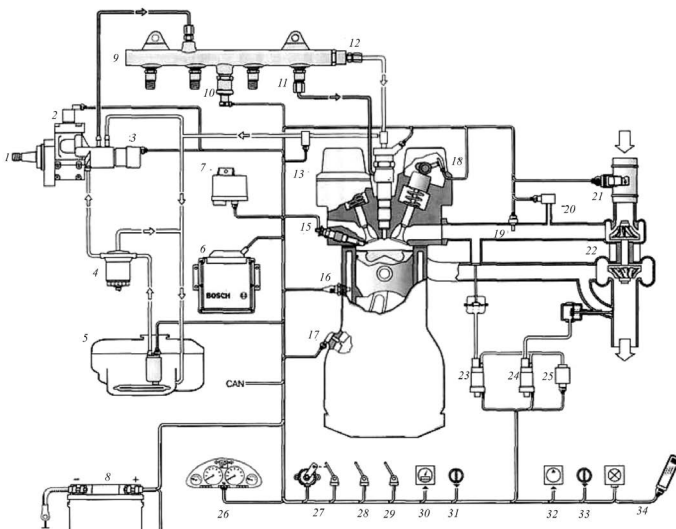


Рис. 8.21. Система впрыска топлива Common Rail: 1 – ТНВД; 2 – электромагнитный клапан выключения подачи; 3 – редукционный клапан ТНВД; 4 – фильтр тонкой очистки топлива; 5 – топливный бак с фильтром-топливозаборником и подкачивающим насосом; 6 – ЭБУ; 7 – блок управления свечами накаливания; 8 – аккумуляторная батарея; 9 – аккумулятор топлива высокого давления; 10 – датчик давления топлива в аккумуляторе; 11 – ограничитель подачи топлива; 12 – регулятор давления; 13 – датчик температуры топлива; 14 – форсунка; 15 – свеча накаливания с закрытым нагревательным элементом; 16 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 17 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 18 – датчик частоты вращения распределительного вала; 19 – датчик температуры воздуха на впуске; 20 – датчик давления наддува; 21 – массовый расходомер воздуха; 22 – турбокомпрессор; 23 – привод клапана системы рециркуляции отработавших газов; 24 – вакуумный насос; 25 – панель приборов; 26 – датчик положения педали акселератора; 27 – датчик положения педали тормоза; 28 – датчик положения педали сцепления; 29 – датчик скорости автомобиля; 30 – датчик скорости автомобиля (Cruise Controller); 31 – компрессор кондиционера; 32 – блок управления компрессором кондиционера; 33 – дисплей системы диагностики с диагностическим разъемом

Топливный насос высокого давления 1 через топливопроводы подает топливо под давлением 1350 бар в аккумулятор 9 и через топливопроводы к форсунке 14. Одновременно за счет объема топлива в аккумуляторе уменьшаются колебания давления топлива, создаваемые топливным насосом высокого давления и открывающимися форсунками. Сжимаемость топлива как следствие высокого давления используется для достижения эффекта аккумулятора. Давление топлива измеряется датчиком 3 (рис. 8.22) и поддерживается на требуемом уровне клапаном регулирования давления.

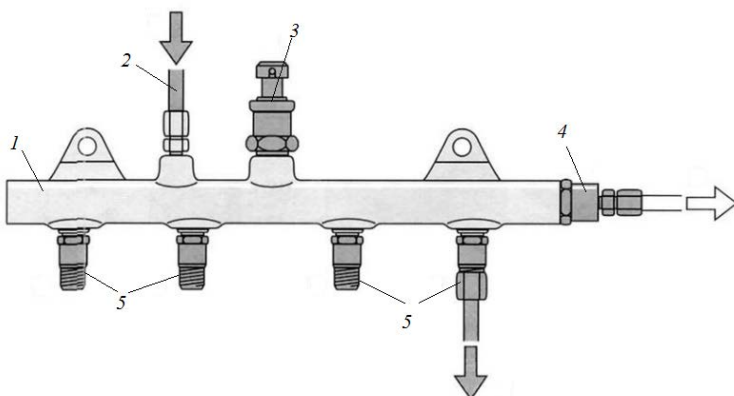


Рис. 8.22. Аккумулятор высокого давления (rail): 1 – аккумулятор высокого давления; 2 – вход от топливного насоса высокого давления; 3 – датчик давления в аккумуляторе; 4 – возврат топлива в топливный бак; 5 – выход к топливной форсунке

Топливо в форсунку подается через входной штуцер высокого давления и далее в канал и камеру гидроуправления через «питающий» жиклер 7 (рис. 8.23). Камера гидроуправления соединяется с линией возврата топлива через жиклер 6 камеры гидроуправления, который открывается электромагнитным клапаном 3. При закрытом жиклере силы гидравлического давления, приложенные к управляющему плунжеру 9, превосходят силы давления, приложенные к заплечику иглы форсунки. В результате игла садится на седло и закрывает проход топлива под высоким давлением в камеру сгорания. При подаче пускового сигнала на электромагнитный клапан 3 жиклер 7 открывается, давление в камере гидроуправления 8 падает, и в результате сила гидравлического давления на управляющий плунжер также уменьшается. По-

скольку сила гидравлического давления на управляющий плунжер 9 оказывается меньше силы, действующей на заплечик иглы 11 форсунки, последняя открывается, и топливо через сопловые отверстия впрыскивается в камеру сгорания.

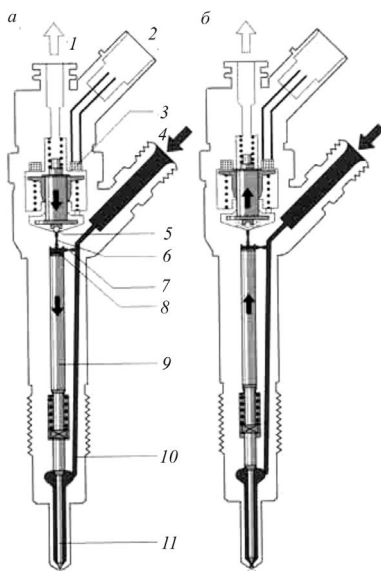


Рис. 8.23. Форсунка: *а* – форсунка закрыта; *б* – форсунка открыта (впрыск); 1 – возврат топлива; 2 – электрические выводы; 3 – электромагнитный клапан; 4 – вход топлива из аккумулятора; 5 – шариковый клапан; 6 – жиклер камеры гидроуправления; 7 – «питающий» жиклер; 8 – камера гидроуправления; 9 – управляющий плунжер; 10 – канал к распылителю; 11 – игла форсунки

Такое косвенное управление иглой форсунки, использующее систему мультипликатора, позволяет обеспечить очень быстрый подъем иглы, что невозможно сделать путем прямого воздействия электромагнитного клапана.

Работа форсунки может быть разделена на четыре рабочие стадии при работающем двигателе и создании высокого давления ТНВД:

- форсунка закрыта с приложенным высоким давлением;
- форсунка открывается (начало впрыска);
- форсунка полностью открыта;
- форсунка закрывается (конец впрыска).

Эти рабочие стадии являются результатом действия сил, приложенных к деталям форсунки.

При остановленном двигателе и отсутствии давления в аккумуляторе форсунка закрыта под действием пружины. При закрытой форсунке

питание на электромагнитный клапан не подается (рис. 8.23, *а*). При закрытом жиклере камеры гидроуправления пружина якоря прижимает шарик к седлу, высокое давление, подаваемое в камеру и к распылителю форсунки из аккумулятора, увеличивается. Таким образом, высокое давление, действующее на торец управляющего плунжера, вместе с усилием пружины держит форсунку закрытой, преодолевая силы давления в камере распылителя.

Перед началом процесса впрыска, еще при закрытой форсунке, на электромагнитный клапан подается большой ток, что обеспечивает быстрый подъем шарикового клапана (рис. 8.23, *б*). Шариковый клапан 5 открывает жиклер камеры гидроуправления, и поскольку теперь электромагнитная сила превосходит силу пружины якоря, клапан остается открытым, и практически одновременно сила тока, подаваемого на обмотку электромагнитного клапана, уменьшается до уровня силы тока, требуемой для удерживания якоря. Это возможно потому, что воздушный зазор для электромагнитного потока теперь уменьшается. При открытом жиклере топливо может вытекать из камеры гидроуправления в верхнюю полость и далее по линии возврата топлива в бак. Давление в камере гидроуправления уменьшается, нарушается баланс давлений, и давление в камере распылителя, равное давлению в аккумуляторе, оказывается выше давления в камере гидроуправления. В результате сила давления, действующая на торец управляющего плунжера, уменьшается, игла форсунки 11 поднимается, и начинается процесс впрыска топлива. Скорость подъема иглы форсунки определяется разностью расходов через жиклер и сопловые отверстия. Управляющий плунжер 9 достигает верхнего упора, где остается, поддерживаемый «буферным» слоем топлива, образующимся в результате указанной выше разницы расходов через жиклер и сопловые отверстия. Игла 11 форсунки теперь полностью открыта, и топливо впрыскивается в камеру сгорания под давлением, практически равным давлению в аккумуляторе. Распределение сил в форсунке подобно их распределению в фазе открытия.

Как только прекращается подача питания на электромагнитный клапан, пружина якоря перемещает его вниз и шариковый клапан 5 закрывается. Якорь состоит из двух частей, поэтому, хотя тарелка якоря перемещается вниз заплечиком, она может оказывать противодействие возвратной пружины, что уменьшает напряжение на якорь и шарик. Закрытие жиклера приводит к повышению давления в камере гидроуправления при поступлении в нее топлива через «питающий»

жиклер 7. Это давление, равное давлению в аккумуляторе, действует на торец управляющего плунжера, и сила давления вместе с силой пружины преодолевает силу давления, действующую на запечник иглы форсунки, которая закрывается. Скорость посадки иглы форсунки на седло, т. е. скорость закрытия форсунки, определяется расходом через «питающий» жиклер. Впрыск топлива прекращается, как только игла форсунки садится на седло.

Одним из путей совершенствования системы Common Rail является увеличение быстродействия открытия форсунки. Минимальное время открытия форсунки для электромагнита с подвижным сердечником составляет 0,5 мс, что не позволяет оперативно изменять подачу топлива. Для более быстрого срабатывания форсунки концерн Siemens разработал пьезокерамический инжектор, который работает в 4 раза быстрее.

Известно, что при подаче электрического напряжения на пьезокерамическую пластинку она изменяет свою толщину на 80 мкм всего за 0,1 мс. Этого достаточно, чтобы воздействовать на иглу форсунки с усилием 6300 Н. Результатом совершенствования форсунок с пьезоэлементом стало перенесение управляющего клапана в нижнюю часть форсунки (рис. 8.24).

Если в системах Common Rail с электрогидравлическими форсунками давление впрыска составляло порядка 1350 бар, то для систем с пьезогидравлическими форсунками давление возросло до 1650 бар.

Благодаря тому, что пьезофорсунки имеют намного меньшее время срабатывания, чем традиционные электромагнитные, стало возможным разделение горючей смеси на несколько отдельных микродоз (до семи за один рабочий процесс). После многократных предварительных впрыскиваний очень небольших количеств горючей смеси следует либо основное впрыскивание, либо, при необходимости, многие так называемые послеавпрыскивания.

Время между предварительным впрыскиванием и основным впрыскиванием составляет 100 мс. Объем топлива, попадающего в цилиндр в момент каждого предварительного впрыскивания, составляет 1,5 мм³. Это способствует равномерному распределению давления в камере сгорания и, соответственно, уменьшению шума, создаваемого в процессе сгорания. Послеавпрыскивания, в свою очередь, служат для снижения токсичности отработавших газов. Кроме того, в случае, когда в выпускной системе установлен фильтр для улавливания несгоревших частиц, такая технология за счет высокой температуры спо-

способствует его очистке, что особенно актуально для двигателей с большим рабочим объемом.

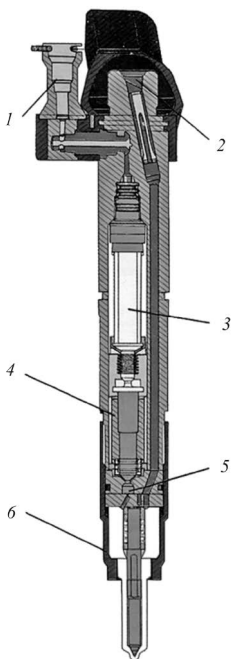


Рис. 8.24. Схема форсунки Bosch с пьезоэлементом второго поколения: 1 – отвод топлива; 2 – подвод топлива; 3 – пьезоэлектрический элемент; 4 – управляющий поршень; 5 – управляющий клапан; 6 – гайка распылителя

Система впрыска *насос-форсунками* является современной системой впрыска топлива дизельных двигателей. В отличие от системы впрыска Common Rail в данной системе функции создания высокого давления и впрыска топлива объединены в одном устройстве – насосе-форсунке. Собственно насос-форсунка и составляет одноименную систему впрыска.

Применение насос-форсунок позволяет повысить мощность двигателя, снизить расход топлива, выбросы вредных веществ, а также уровень шума.

В системе на каждый цилиндр двигателя приходится своя форсунка. Привод насос-форсунки осуществляется от распределительного вала, на котором имеются соответствующие кулачки. Усилие от кулачков 16 передается через коромысло 17 непосредственно к насос-форсунке (рис. 8.25).

Плунжер 2 служит для создания давления топлива. Поступательное движение плунжера осуществляется за счет вращения кулачков 16 распределительного вала, возвратное – за счет плунжерной пружины 3.

Клапан управления 5 предназначен для управления впрыском топлива. В зависимости от привода различают электромагнитный и пьезоэлектрический клапаны.

Пьезоэлектрический клапан пришел на смену электромагнитному. Пьезоэлектрический клапан обладает большим быстродействием. Основным конструктивным элементом клапана является игла клапана 4.

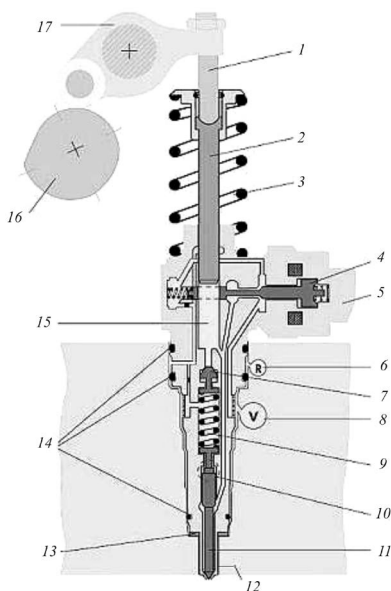


Рис. 8.25. Схема насос-форсунки с электромагнитным клапаном:

- 1 – винт с шаровой головкой;
- 2 – плунжер; 3 – плунжерная пружина;
- 4 – игла электромагнитного клапана;
- 5 – электромагнитный клапан;
- 6 – канал сливной топливной магистрали; 7 – обратный клапан; 8 – канал питающей топливной магистрали;
- 9 – пружина распылителя; 10 – запорный поршень; 11 – игла распылителя;
- 12 – головка блока цилиндров;
- 13 – термозащитная прокладка;
- 14 – уплотнительные кольца;
- 15 – камера высокого давления;
- 16 – приводной кулачок;
- 17 – коромысло

Пружина 3 обеспечивает посадку иглы распылителя на седло. Усилие пружины при необходимости поддерживается давлением топлива. Данная функция реализуется с помощью запорного поршня 10 и обратного клапана 7.

Игла распылителя 11 предназначена для обеспечения непосредственного впрыска топлива в камеру сгорания.

Управление насос-форсунками осуществляет система управления двигателем. Блок управления двигателем на основании сигналов датчиков управляет клапаном насос-форсунки.

Конструкция насос-форсунки обеспечивает оптимальное и эффективное образование топливоздушной смеси. Для этого в процессе впрыска топлива предусмотрены следующие фазы:

- предварительный впрыск;
- основной впрыск;
- дополнительный впрыск.

Предварительный впрыск производится для достижения плавности сгорания смеси при основном впрыске.

Основной впрыск обеспечивает качественное смесеобразование на различных режимах работы двигателя.

Дополнительный впрыск осуществляется для регенерации (очистки от накопленной сажи) сажевого фильтра.

Работа насос-форсунки осуществляется следующим образом. Кулачок 16 распределительного вала через коромысло 17 перемещает плунжер 2 вниз. Топливо перетекает по каналам 6 и 8 форсунок. При закрытии клапана 5 происходит отсечка топлива. Давление топлива начинает расти. При достижении давления 13 МПа игла распылителя 11, преодолевая усилие пружины 3, поднимается и происходит предварительный впрыск топлива.

Предварительный впрыск топлива прекращается при открытии клапана 5. Топливо переливается в питающую магистраль. Давление топлива снижается. В зависимости от режимов работы двигателя может осуществляться один или два предварительных впрыска топлива.

Основной впрыск производится при дальнейшем движении плунжера 2 вниз. Клапан 5 снова закрывается. Давление топлива начинает расти. При достижении давления 30 МПа игла распылителя 11, преодолевая усилие пружины 3 и давление топлива, поднимается и происходит основной впрыск топлива.

Чем выше давление, тем большее количество топлива сжимается и соответственно больше впрыскивается в камеру сгорания двигателя. При максимальном давлении 220 МПа впрыскивается наибольшее количество топлива, тем самым обеспечивается максимальная мощность двигателя.

Основной впрыск топлива завершается при открытии клапана 5. При этом падает давление топлива и закрывается игла распылителя.

Дополнительный впрыск выполняется при дальнейшем движении плунжера 2 вниз. Принцип действия насос-форсунки при дополнительном впрыске аналогичен принципу действия при основном впрыске. Обычно производится два дополнительных впрыска топлива.

Насос – форсунка – трубопровод. Система дизельной топливной аппаратуры насос – форсунка – трубопровод является модульной конструкцией, которая позволяет производить впрыск топлива в каждый отдельный цилиндр с помощью индивидуального насоса высокого давления. Общий вид системы показан на рис. 8.26.

Привод отдельных топливных насосов высокого давления 3 осуществляется кулачками распределительного вала 4 через роликовые толкатели 9. Начало и конец впрыска в зависимости от режима работы двигателя регулируются быстродействующим электромагнитным клапаном 7. Область высокого давления герметизируется только во время такта подачи, когда электромагнитный клапан закрыт. Подача топлива к форсунке начинается, как только превышает значение давления открытия иглы распылителя.

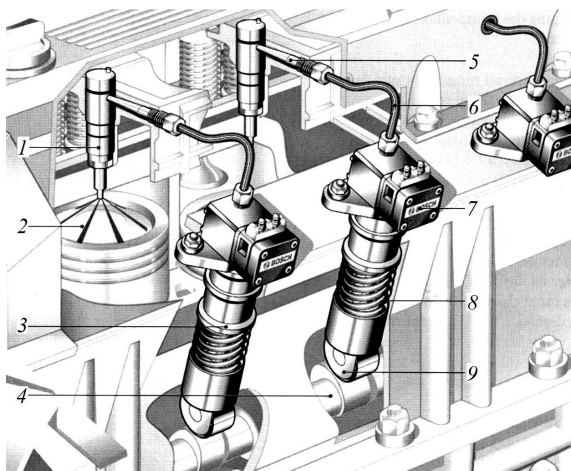


Рис. 8.26. Общий вид системы дизельной топливной аппаратуры насос – форсунка – трубопровод: 1 – форсунка; 2 – камера сгорания; 3 – отдельный топливный насос высокого давления; 4 – распределительный вал; 5 – кронштейн топливопровода высокого давления; 6 – топливопровод высокого давления; 7 – электромагнитный клапан; 8 – возвратная пружина; 9 – роликовый толкатель

Использование системы насос – форсунка – трубопровод (PLD) позволяет создавать давление впрыска до 2000 бар, что снижает расход топлива и токсичность отработавших газов.

Схематичное расположение узлов системы насос – форсунка – трубопровод показано на рис. 8.27.

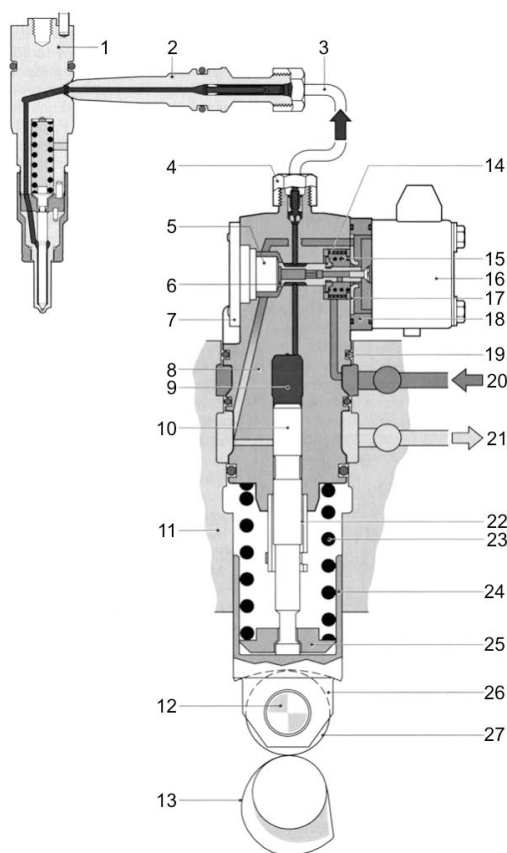


Рис. 8.27. Схема системы насос – форсунка – трубопровод: 1 – форсунка; 2 – штуцер форсунки; 3 – топливопровод высокого давления; 4 – накидная гайка; 5 – упор; 6 – игла электромагнитного клапана; 7 – пластина; 8 – корпус насоса; 9 – полость высокого давления; 10 – плунжер; 11 – блок двигателя; 12 – ось роликового толкателя; 13 – кулачок; 14 – тарелка пружины; 15 – пружина электромагнитного клапана; 16 – корпус клапана с обмоткой электромагнита; 17 – пластина якоря; 18 – промежуточная пластина; 19 – уплотнение; 20 – вход топлива низкого давления; 21 – слив топлива; 22 – плунжер; 23 – пружина толкателя; 24 – тарелка толкателя; 25 – тарелка пружины; 26 – роликовый толкатель; 27 – ролик толкателя

Плунжер насоса 10 приводится в движение непосредственно от кулачкового вала двигателя 13. Связь между плунжером насоса и кулачковым валом осуществляется через пружину 23 и роликовый толкатель 26.

Количество подаваемого к форсунке топлива регулируется с помощью иглы 6 электромагнитного клапана 16. Топливо под высоким давлением подается из полости 9 к форсунке 1 через топливопровод 3 и штуцер 2, установленный, как и форсунка, непосредственно в головке цилиндров двигателя.

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и работа системы питания дизельного двигателя.
2. Назначение, устройство, работа подкачивающего насоса, насоса высокого давления, форсунки, всережимного регулятора и фильтров.
3. Назначение, устройство и работа плунжерной пары топливного насоса высокого давления.
4. Муфта опережения впрыска топлива. Назначение, устройство и принцип действия.
5. Как обеспечивается работа дизельного двигателя при режимах пуска, холостых оборотов, работы под нагрузкой?
6. В какой момент прекращается подача топлива в цилиндр?
7. Почему в цилиндр топливо впрыскивается под большим давлением?
8. Как удаляется воздух из системы питания при работе двигателя?
9. Назначение, устройство и принцип работы турбокомпрессора.
10. Назначение, устройство и принцип работы воздухоочистителей
11. В чем состоит принципиальное различие рядного и распределительного насосов?
12. Почему регулятор назван всережимным?
13. Типы форсунок, применяемые в системе Common Rail.
14. Что такое топливная рампа?
15. Как контролируется давление в топливной рампе?
16. От чего приводится в действие насос-форсунка?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карташевич, А. Н. Тракторы и автомобили. Конструкция : учеб. пособие / А. Н. Карташевич, О. В. Понталев, А. В. Гордеенко; под ред. А. Н. Карташевича. – Минск: Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2013. – 312 с.
2. Автомобили: учеб.-метод. пособие / А. Н. Карташевич, А. В. Гордеенко, О. В. Билык, М. Л. Петренко. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2022. – 424 с.
3. Устройство тракторов : учеб. / А. Н. Карташевич, О. В. Понталев, А. В. Гордеенко, В. А. Белоусов; под ред. А. Н. Карташевича. – 2-е изд., стер. – Минск : РИПО, 2020. – 463 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. Богатырёв, А. В. Тракторы и автомобили : учеб. / А. В. Богатырёв, В. Р. Лехтер; под ред. А. В. Богатырёва. – М. : КолосС, 2008. – 400 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.....	4
1.1. Классификация двигателей внутреннего сгорания.....	4
1.2. Механизмы и системы поршневых двигателей.....	7
1.3. Общепринятые понятия о работе двигателя.....	9
1.4. Рабочие циклы двигателей внутреннего сгорания.....	13
1.4.1. Двухтактный ДВС с искровым зажиганием.....	13
1.4.2. Дизельный четырехтактный ДВС.....	14
1.4.3. Четырехтактный ДВС с искровым зажиганием.....	16
1.4.4. Многоцилиндровые двигатели.....	17
1.4.5. Сравнительная оценка ДВС.....	21
Контрольные вопросы.....	22
2. ТОПЛИВНО-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.....	23
2.1. Автомобильные бензины.....	23
2.2. Дизельное топливо.....	25
2.3. Газообразное топливо.....	27
2.4. Моторные масла.....	29
2.5. Охлаждающие жидкости.....	31
Контрольные вопросы.....	33
3. КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ.....	34
Контрольные вопросы.....	45
4. ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ.....	46
Контрольные вопросы.....	55
5. СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ.....	56
Контрольные вопросы.....	66
6. СИСТЕМА СМАЗЫВАНИЯ.....	67
Контрольные вопросы.....	80
7. СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ.....	81
7.1. Система питания карбюраторного двигателя.....	84
7.2. Системы впрыска бензина.....	86
7.3. Система питания газовых двигателей.....	102
Контрольные вопросы.....	108
8. СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	110
Контрольные вопросы.....	151
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	152

Учебное издание

Карташевич Анатолий Николаевич
Гордеенко Андрей Васильевич

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.
УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Н. А. Матасёва*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Корректор *Н. П. Лаходанова*

Подписано в печать 19.09.2025. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 9,07. Уч.-изд. л. 7,82.
Тираж 60 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.